
雙月刊
核能簡訊
NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 138
2012 OCTOBER
未來主人翁親見解惑
理性決定核能未來
2012輻射與核電知識訪日交流團收穫滿載
自然能源發電的可能性與極限 對過度期待的警告
核能與再生能源的調和
第二十七屆台日核安研討會
民意驅策日本邁向新能源政策
美國大型中期貯存設施 萬事具備

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.138 雙月刊

OCTOBER 中華民國一〇一年10月號

封面圖片：日本六所村展示館

出版單位：財團法人核能資訊中心
地 址：新竹市光復路二段一〇一號研發大樓208室
電 話：（03）571-1808
傳 真：（03）572-5461
網 址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、李清山、汪曉康、陳布燦、陳條宗、劉仁賢、謝牧謙、簡福添（依筆畫順序）
主 編：朱鐵吉
顧 問：喻冀平
文 編：鍾玉娟、翁明琪、陳婉玉
執 編：羅德禎
設計排版：長榮國際 文化事業本部
地 址：台北市民生東路二段166號6樓
電 話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司 印刷廠

編者的話

8月19-24日本刊記者隨同「2012輻射與核電知識訪日交流團」的21位高中生、4位高中老師前往日本，參訪六所村原燃園區、女川核電廠，並與福島高中師生交流。這些學生來自基隆、台中、南投、台南、高雄、台東各地，經過清華大學工程與系統科學系李敏教授與物理系戴明鳳教授的精心篩選，脫穎而出。有的人是第一次出國，有的人是第一次踏上日本的土地，更特別的是，這次到訪的地點是一般觀光客到不了的核能管制區，在六所村還獲得連核能專家都望塵莫及的高規格禮遇，讓這群大孩子興奮極了。

他們也不辜負這難得的機會，行前蒐集資料，做足功課；參訪過程中只見他們不斷做筆記、提問題，認真思考，尋求解答。到福島高中交流前一天，教授們要求預演練習簡報內容，避免錯誤也增加熟練程度。於是整個晚上全體師生聚集在飯店大廳，演練、修改、再演練、再修改，一直熬到半夜2點多，才大功告成回房睡覺。經過這樣的磨鍊，果然有優異的表現；在福島高中報告時，每位同學操著流利的英語，台風穩健大方的侃侃而談，獲得日本師生的滿堂彩。

回台後，每位師生都繳出精彩的心得報告；從內容中可看出經由這個學習過程，十幾歲的孩子已經能夠獨立思考、自主判斷，做出自己的結論，不再人云亦云；也不至於因為是核能學習之旅而一味只說核能的好話。期待播下的這顆種子，能讓他們在未來面對能源議題時，能多一些客觀、理性的思考深度。

下一期開始，本刊將新闢新單元──漾之聲，分享這些精彩的心血結晶，敬請期待。

長期以來，反對核能的人總是期待以再生能源取代核能發電，似乎兩者之間無法和諧共存。「自然能源發電的可能性與極限──對過度期待的警告」，以及「核能與再生能源的調和」兩篇文章，深入探討民意趨向零核電的日本，是如何看待再生能源；日本學者從不角度分析探討，過度期待再生能源將產生的問題與影響，值得我們重視。

「2012 輻射與核電知識訪日交流團」收穫滿載

未來主人翁親見解惑 理性決定核能未來

文．編輯室

經過多年的努力奔走，清華大學工程與系統科學系李敏教授與物理系戴明鳳教授今年（2012）終於籌得足夠經費，帶領國內多所高中學生前往日本參訪核能設施，並與福島高中學生面對面進行國際交流。

利用暑假期間的8月19-24日，「2012輻射與核電知識訪日交流團」順利成行，分別來自基隆高中、曉明女中、南科實驗中學、台東高中、台東女中、南投高中、新莊高中、台中一中、鳳新高中、文山高中、明道中學、高雄中學，22位希望深入瞭解核能發電的高中學生與4位隨隊高中教師，由深諳日本核能產業現況的資深核能專家謝牧謙博士陪同，以及甫退休即被香港城市大學延聘的清華大學工程與系統科學系錢景常教授；並特別邀請宜蘭大學黃朝曦教授協助影像記錄，本刊記者也隨行採訪，一行32人遠赴日本一探福島核災後核電的真實面貌。

參訪六所村 獲超高規格待遇

交流團的第一站是來到日本東北地區青森縣的六所村，我們在展示館聽取簡報時，日本原子力燃料公司（JNFL）石川真澄部長表示，在參觀展示館之後，將帶領大家參觀MOX混合氧化燃料製造廠、高放射性廢棄物貯存廠、用過核燃料再處理廠、低放射性廢棄物處置場、鈾濃縮廠等設施。李敏教授當場表示，先前他來六所村參訪時，原燃公司只讓他們在展示館內參觀，然後在大門口照張相片而已。而本刊記者與年代電視台到此拍攝「瀨上剛in台灣」的節目時，也只能到低放處置場短暫停留。這次交流團能參觀這麼多個原燃公司視為高度機密，連核能專家都不能一窺堂奧的設施，真是太令人驚喜了！

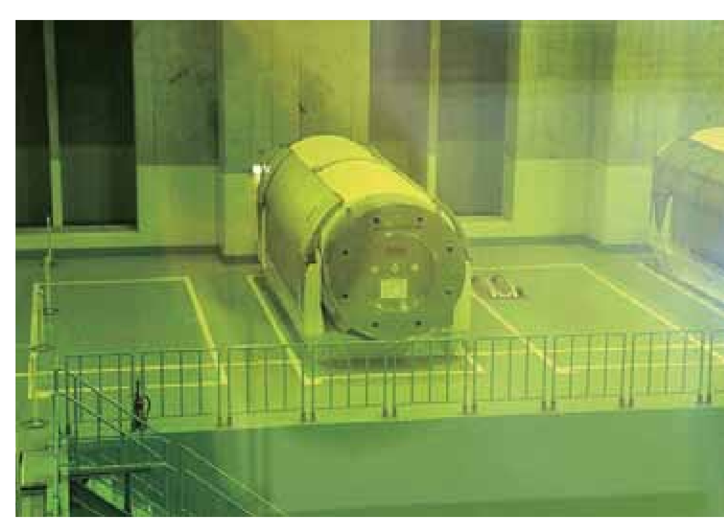
同學們按耐住興奮的心情，隨著解說員的帶領，進入展示館參觀，藉由各種精美、

活動行程：

日期 / 星期	行程安排
8/19（日）	桃園機場→東京
8/20（一）	東京→八戶→三澤
8/21（二）	三澤→六所村 參訪日本原子力燃料公司、MOX 製造廠、高放射性廢棄物貯存廠、用過核燃料再處理廠、低放射性廢棄物處置場、鈾濃縮廠→仙台
8/22（三）	仙台→參訪女川核電廠→福島
8/23（四）	福島→福島高中交流→東京
8/24（五）	東京→桃園機場



▲圖 1　學生們在六所村展示館內一邊聽解說，一邊勤做筆記



▲圖 2　高放射性廢棄物運送護箱（來源：Plutonium, Spring 2012 No.77, pp.11-17）

活潑的模型，先對核能發電完整的流程有初步且全面性的認識，接著就實地走訪這座舉世聞名的「原燃園區」。整個園區占地740公頃，是新竹清華大學的7倍，與核燃料相關的建築物共有30棟，員工1,200人，下包廠商約1,400人。

六所村是日本的「能源之村」，設有77座風力發電機（1,500瓩/每座）、51座石油貯存槽（存量可供應日本全國12天）。這裡之所以舉世聞名，是因為核熔合國際計畫的重要周邊設施也建在六所村內，國際核熔合實驗爐（ITER）則設於法國的卡達赫希核能研究中心。

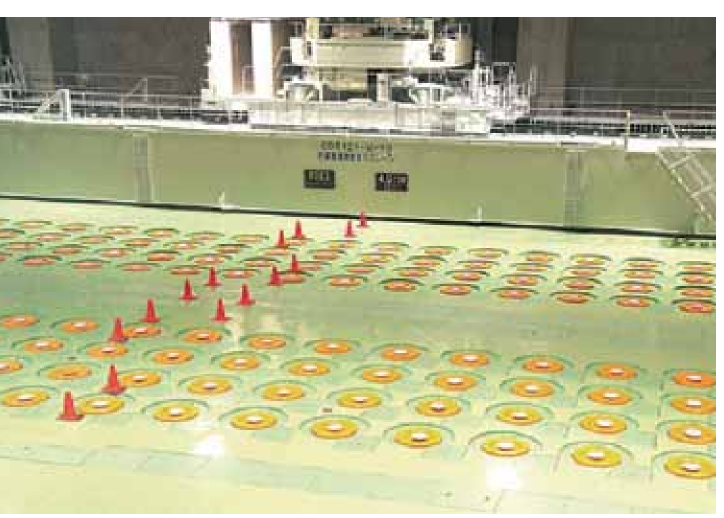
揭開高放貯存廠的神秘面紗

目前日本的用過核燃料分別送至法國和英國進行再處理，取出珍貴可用的鈽與鈾之後，剩餘的高放射性廢棄物以玻璃固化，再以船隻運回日本。我們參訪當天，正好有2個剛剛返抵國門的運送護箱躺在接收室內，學生們可以親眼見到他的廬山真面目。

每個運送護箱內放有28個玻璃固化體容器，每個容器重達300公斤，容器再貯存於深達13公尺的豎井中，每個豎井可垂直存放9個容器。有學生關心在去年311大地震時，這裡的受災情形。石川部長表示，當時六所村測得的震度是4級，高放貯存廠的地板厚達1.9公尺，是非常強壯的屏蔽，只要在震度6級以下都很安全；廠區內各核能設施也都沒有造成損傷。

由於高放射性廢棄物的溫度高達攝氏200-250度，在運輸過程中，不銹鋼護箱利用冷熱空氣自動對流的原理持續冷卻，護箱表面並設計有金屬板可加強散熱。運送至貯存廠放入豎井之後，在地板下有冷卻空氣持續流通，產生自然對流，不需要電力，不怕停電發生危險。

在貯存廠暫時貯存30-50年之後，高放射性廢棄物的溫度將降至攝氏100度以下，再運送至最終處置場進行深層地質處置。日本政府預計2030年至2040年之間，將可覓得最適合的場址。



▲圖 3　玻璃固化之後的高放射性廢棄物貯存容器存放在地板之下（來源：Plutonium, Spring 2012 No.77, pp.11-17）



▲圖 4　用過核燃料再處理廠內的中央控制室（來源：Plutonium, Spring 2012 No.77, pp.11-17）

再處理廠預計2013年春天可商轉

進入用過核燃料再處理廠的中央控制室，看到左右各3個U型的控制台，分別控制切割、溶解、萃取、分離等作業。雖然再處理廠已經試俥一年餘，過程也曲折不順，主要是後端玻璃固化系統出問題；經過種種的改善措施後，石川部長：「我們的目的已經達成。」目前正進行系統運轉。為了儘快進入商轉，控制室內工作人員雖然不多，但是個個神情緊繃的盯著操作面板。

再處理廠的技術是由法國AREVA公司技術移轉，日本購買設計圖後自行興建。由於法國技術的耐震度不高，不足以因應日本的地質特性，因此日本自行研發改良出獨有的特殊技術。原本的建廠預算是7,000億日圓，現在已經追加到2兆日圓，暴增了3倍之多；主要是花在地震安全評估重新提高，以及追加安全設施等部分。

由於用過核燃料可以經過再處理之後取出珍貴的鈾與鈽，其中的鈽是製造核子武器的重要元素，因此保安工作分外重要。世界原子能總署（IAEA）特派2位專家，24小時監視六所村的用過核燃料再處理作業。廠內共設有110台監視器，一舉一動都受到監控。石川部長表示，六所村所在的三澤地區設有一座美軍空軍基地，為了避免在軍事行動中受波及，影響用過核燃料的安全，廠房屋頂是以1.2公尺厚的鋼筋混凝土保護，而且做過飛機衝撞試驗，YouTube上還有相關測試的影片，有興趣的讀者可以上網查詢觀看。



▲圖 5　六所村低放射性廢棄物最終處置場

強震過後　低放處置場安然無恙

站在低放射性廢棄物最終處置場的展望室內，看見前方地面上一格一格的方塊，混凝土部分是已經澆灌水泥封頂完成，綠色部分是正在進行最終處置作業。一個方塊可放置500個鋼桶，六所村低放處置場1號區貯存內容物為濃縮廢液、廢樹脂或焚化灰，以水泥、瀝青或塑膠固化後裝入50加崙桶，目前埋貯桶數為146,547桶。2號區貯存內容物為雜項固體廢棄物、金屬類、塑膠、保溫材料、過濾器等固體廢棄物，先分類再依需要切割、壓縮或熔融處理，裝桶後再以水泥填充空隙成為一體的固化物，目前埋貯桶數為99,712桶，1、2號區共貯存246,259桶（至2012 年8月31日止）（註1）。

六所村的低放處置場是建在堅固的岩盤上，深達12公尺，因此在311強震之中沒有受到絲毫影響。50年之後，這裡將恢復成一片平整的草地，不復見水泥色的貯存窖；經過300年的監控管制之後，輻射值已降至一般背景值以下，就可以開放使用，沒有安全之虞。

李敏教授提及，六所村的低放處置場已經是30年前的設計，台灣現在才要開始，只會做得比六所村更好，技術更新，設計更具有安全意識。他以美國華盛頓州的低放處置場為例，幾乎沒有甚麼管制措施，因為他們覺得低放廢棄物沒甚麼危險，不必大費周章又花費高成本加以管理，只需做好輻射監控作業，確保沒有異常狀況即可。

南韓從1986年開始也想要興建低放處置場，但是經過十幾年的民意反對，始終未能取得適當的場址；於是每年都有數千位韓國民眾前來六所村實地參觀，歷經19年共9次的嘗試，終於在2005年時，慶州地區提報成為自願場址，當地民眾並以高達89.5%的同意率正式通過，這正是實地參訪的強大影響力。我國也同樣每年帶領核能設施附近民眾，以及低放潛在場址地區民眾前來見學，希望也能和韓國一樣，最終獲得民眾的肯定。

由於參訪的時間已到，我們在參觀鈾濃縮廠的廠房外觀之後，離開六所村。

台東師生訪六所村　感觸良多

由於台東大武鄉被選為我國的低放最終處置場候選場址，這次參加交流團的台東師生對六所村的相關設施非常關心。台東高中化學老師黃嘉慶表示：「…這些條件跟台東現在的低放射廢棄物永久處置場候選場址相當類似；但當初六所村民眾出現反對、抗爭的舉動，在與日本政府與原子力燃料公司長期的溝通之後，民眾接受度大增。在獲得民眾的信任之後，處置場得以順利施工、運轉。運轉至今將近20年，六所村民繳交的所得稅是青森縣之冠，儼然成為青森縣最富裕的地區了，人口也成長到1萬多人，年輕人紛紛遷回戶籍，回到當地工作定居，下一代在這裡生活有了希望。這些過程，很值得我們台東地區的居民深思，也值得台灣民眾深思。」

台東高中張楨淯則說：「六所村，一個看似偏遠的一個小地方，卻含括了如此完備的核能設施，其中我最感興趣的就是低放廢料處置場，或許是我不夠了解吧！看完他們的安全防護措施，我覺得那樣再有輻射外洩，要是我就真的舉雙手投降了，6到8層的防護，只要有1層能夠將輻射擋下，一切就沒事了。不過我有一個疑問就是當地的日本人說日本和韓國都說直接把反對的民眾帶來看安全措施回去就都沒事了，為什麼台灣做不到這點？為什麼台灣的人民看完回去之


▲圖 6 台東高中許誌元拿著原燃公司發的劑量配章，他覺得日本人做事一絲不苟的工作態度令人佩服

後還是會說不好？政府有這麼不值得信任嗎？」

而台東女中表達出另一個角度的思考，隨行的物理老師陳淑惠提議，讓各鄉鎮自己爭取存放地點，應該會是個好方法，就把詳細的資訊講清楚，像簽訂契約一樣，民眾就不會有被歧視的感覺了。

台東女中鍾晴在心得報告中寫道：「其實我不太了解低階核廢料放置的地理環境，但是參觀日本六所村之後，才知道其實核廢料存放的空間根本不大，頂多一個學校操場大小吧，而且廢料的放射性比規定值低多了。因此，我覺得可以存放低階核廢料根本就是一大優惠。台灣的大眾媒體如果還是無法改善，我們也可以幫忙傳播正確的知識，讓台東民眾接受這個決定，希望我們能像六所村一樣變得更好。」


▲圖 7 學生們圍著女川電廠加藤功廠長踴躍發問

災後的女川核電廠　證明核能可以安全

在本刊第136期中曾經報導，女川電廠因為廠房高度高於海嘯而能倖免於難，甚至成為女川町居民的避難所。女川電廠代理廠


▲圖 8　台東高中的張楨淯詢問女川核電廠如何與民眾溝通

長加藤功為大家簡報時說明，電廠在強震與海嘯重擊之後未發生核災的種種安全設計，證明核電廠只要防護措施運作得宜，的確經得起大自然的考驗。

即使如此，女川電廠所屬的東北電力公司仍不敢就此滿足，除了持續修復在震災中受損的設備與零組件，還繼續加強與安全相關的種種設施：防海嘯堤防從14公尺繼續加高到17公尺、重要的機器設備外部再加裝2公尺高的防水牆、加強廠房封閉防水工程；另外在高處增加4部新式高壓電源車、3部大型氣冷式發電機，以確保緊急電源不虞匱乏。

我們在廠區內實際看到高聳的防波堤已增高完成，牆上還設有窗形的單向水閘門設計，可以用來防止海水淹進堤防中；一旦發生超過17公尺高的海嘯，越過防波堤時，堤內的海水則可透過此閘門流出，迅速解除積水危機。

在前往女川電廠的途中，大家看見路旁十幾公尺高、尚未清除完畢的大量垃圾、廢棄車輛、船隻，以及殘破不堪的建築物，學校操場與空地舖滿石礫、寸草不生，沿途不斷看見大型墓地，很多都是新墳…。一幕幕怵目驚心的景象，讓團員們看了心頭沉重、默默無語，實在難以想像一年前這裡的景象。後來看了加藤廠長簡報時播放的海嘯影片，以及女川町鬧區完全被夷為平地的照片，深深震撼了我們。

或許正是這種心情的影響，在加藤廠長簡報結束後，學生們紛紛提問，對於女川的種種安全防護措施充滿好奇，討論氣氛非常熱烈。而台東高中的張楨淯問了一個讓人眼睛一亮的問題：「女川電廠如何與地方民眾溝通？」不愧是台東地區的子弟呢！加藤廠長表示，東北電力公司在15年前成立民眾溝通的機構，由公司高層主管負責，持續不斷進行溝通工作。與民眾溝通時，最重視的是以平等的姿態與民眾互動，因此能獲得當地民眾的肯定與信任。

也有學生問到非常實際的問題—日本只剩2部機組在運轉，是否會調漲電價？加藤廠長回答：這一年來，東北電力公司已經嚴重虧損，全體員工都減薪20%，目前各電力公司都還不敢調價，因為還有儲備金可以貼補；也因為東京電力的處置失當，造成嚴重的核子事故，所有的電力公司有義務共同承擔事故之後虧損的衝擊。他特別強調，等各公司的儲備金耗盡，明年電價一定會調漲。

在孩子身上　我看見台灣的希望

前往福島高中的前一天晚上，李敏教授與戴明鳳教授要求各組同學先做英文簡報預演，藉此檢視簡報內容、掌控時間，也讓大家更為熟練。原本指定報告的學校是台東女中、曉明女中、基隆高中、台東高中，最後由南科實驗中學做總結，其餘來自7個學校的7位同學，則不需上台。只見這5組的帶隊

老師與學生在飯店大廳開始練習，未編組的7位學生也在大廳內聆聽簡報。不多久，這7位學生在兩位教授面前站成一排，表示他們在行前蒐集了許多核能資訊，這兩天的參訪也有許多心得感想，他們也想要上台簡報，詢問教授同不同意。看到學生這麼主動積極想表達自己的想法，兩位教授當然點頭不已，高興非常。於是，本團所有的老師、學生全員到齊，一同在大廳裡腦力激盪，一直奮戰到隔天凌晨兩點多，真是熱血！

一路隨同我們、提供各項協助的日本原子力產業協會國際部的石井敬之先生目睹此情景，也大受震撼，不斷表示學生們這樣的態度讓他非常感動；回想起他自己高中時代懵懂無知的情形，一直盛讚台灣的學生聰明、學習能力強，如果都能加入核能溝通的行列該有多好。本刊記者也深深以這些孩子們為榮，在他們身上看見了台灣無限的希望。

與福島高校交流　成功的學生外交

一進福島高中校園，就受到一大群師生熱烈盛情的歡迎。交流團在「梅苑會館」內與福島高中學生相見歡，校長本間稔在致詞時表示，原本相信日本的科技萬能，但是經過福島核災之後，這個神話已經破滅，現在福島地區推行不依賴核電行動，希望透過這次的交流活動，大家集思廣益如何才能達成零核。本間校長提及，福島一廠發生氣爆時，福島高中測到20微西弗/小時的輻射劑量，現在已經降到0.7微西弗/小時，大約是天然背景值的10倍，已經對健康沒有影響。

本間校長還提及，福島高中已經獲得日本政府的「Super Project」預算，可以到國外參訪交流，目前已經和台灣的學校洽談中，預計明年春天將會來台訪問，現場學生得知之後雀躍萬分。

南科實驗中學物理教師蔡汶鴻為今天的交流活動致開場詞，隨後福島高中同學與曉明女中的林容也分別以流利的英文為活動暖身。

首先登場的分組簡報是由福島高中報告福島縣的現況，這次震災造成福島縣2,269人死亡、46人失蹤、20,183棟房屋全毀、60,505棟半毀，損失達台幣28億5,300餘萬元，仍有近12,000人因疏散而無家可歸。儘管如此，福島的孩子告訴大家：「我們絕不放棄！」現場立刻爆出如雷的掌聲，我們的眼眶也紅了。

蒐集資料＋實際民調　得出精彩結論

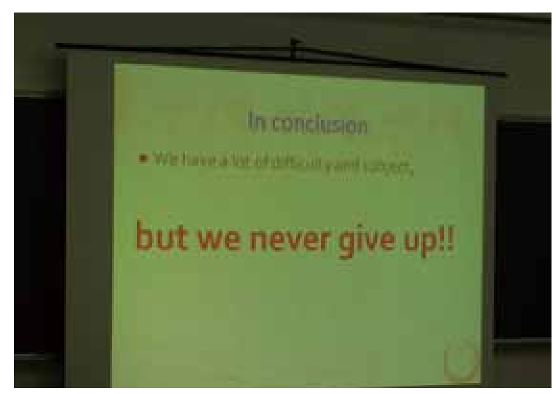
接著是曉明女中針對各種方電方式作出優劣比較，說明台灣目前的發電現況，發電對環境的影響程度，以及放射性廢棄物處置等議題，最後的總結是核能優於其他選擇。曉明的5位學生都是今年才剛從國三升高一的孩子，個個英語流利，台風穩健，令人驚豔。



▲圖 9　全部學生齊聚在飯店大廳，為次日與福島高中交流的簡報做準備，奮戰到半夜 2 點多！



▲圖 10　教授，我們也想要上台報告心得！



▲圖 11　這張投影片，讓來自台灣的我們紅了眼眶……



▲圖 12　台日學生針對當天報紙頭條「零核」的新聞，熱烈交換意見

台東女中的主題是「核去核從？」她們進行民意調查的結果，由於較被動的接收資訊，台東地區民眾超過50%是經由電視獲取核能相關訊息，也深受大眾媒體傳遞的資訊影響；而做過問卷的民眾，日後對核能相關議題會特別關注的高達80%。她們強調，並不會因為更瞭解核能而降低對核災風險的焦慮感，同時也會深思能源的重要性，因為人們不可能回到原始生活。東女的李冠霏今年即將高中畢業，已經錄取台灣大學工商管理系，非常優秀！

台東高中則是報告「台東地區民眾對低放射性廢棄物處置場的認知調查」，調查結果顯示，大部分的台東民眾知道核廢料可分為低放射性以及高放射性兩種，也知道新舊核廢料貯存場址的位置。然而，並不清楚在場址選擇的公投中究竟是誰才擁有投票權；國中學歷以及農林漁牧工等職業的受訪者較缺乏相關的資訊來源。七成以上的民眾認為因為核廢料所造成的健康危害--白血病、癌症、基因突變以及畸形兒可能性最高；有近半數民眾認為會發生不孕及噁心、疲倦、頭痛感。約有68%的民眾反對在台東放置核廢料，20%的人有條件支持，2%的人無條件支持；農林漁牧工職業者對於本議題較缺乏相關認知，多半不表示意見。

基隆高中的主題「學生眼中的核能」以非常幽默風趣的方式呈現核能發電與輻射對健康的影響，楊尚珉以「核電廠附近民眾接受的輻射劑量等同於多吃了10根香蕉（因為香蕉富含鉀40）」做比喻，引起現場一片笑聲。

這幾份簡報資料與團員們的心得報告內容都非常精彩，本刊隨後將陸續刊登，以饗讀者。

雙方問答　思考深度超齡

針對台灣這幾個簡報內容，福島學生紛紛提出評論及問題：「大學所扮演的角色應該是提出務實可行的對策，能瞭解民眾的想法，並傳達給政府。」「日本民眾獲取資訊的主要管道是網路，台灣則是以電視為主，似乎有明顯的差異。」「台灣的高放射性廢棄物如何處置？」「台灣如何因應非核家園？」等，顯見他們也是做足功課，並針對簡報內容提出疑問，令人印象深刻。而這些問題則是由7人小組的同學一一上台回答，他們沒有講稿，直接以流利的英語回答，台風大方穩健，內容精闢又有見解，我們的學生真是太優秀了！

就在當天，日本各大報紙頭版頭條都是「民意調查顯示，絕大多數日本民眾希望2030年時核能占比為0％」，李敏教授經過本間校長的同意，在現場直接進行意見調查：「這個民意調查的結果是否會讓你擔憂，將造成日本經濟衰退、失業率上升，未來就業困難？」舉手同意的日本學生約占2/3。

最後由南科實驗中學的同學為今天雙方的簡報內容作總結，彼此互道珍重，相約明年春天在台灣見。

一趟理性的思辨之旅

行前李敏教授一再對本團的師生強調，這次的參訪活動是提供大家一個深入瞭解核能設施的管道，希望大家除了聽見台灣媒體傳播與網路的各種核能訊息之外，也能透過親身體驗，接收到不一樣的核能資訊。「絕對不是對各位洗腦，甚至賄賂大家。希望不要擔心回去以後一定要支持核能，而是要透過此行的種種，自己判斷各種能源的優劣之後再做出決定。」

這次的參訪交流，就像是在團員們心中種下一粒種子。學生們表示，日後只要遇上與核能有關的議題，大家都不免會特別關注；接觸到與核能有關的資訊時，也會想要詳細閱讀、理解，明辨是否正確，這正是辦理這次活動的主要目的。現在民智已開，即使是十幾歲的高中生，也希望以自己的所知所聞，自己下判斷，自己做決定，不會喜歡被牽著鼻子走的感覺。

很多學生這是第一次出國，或是第一次踏上日本的土地，對於日本的風土民情都留下深刻而美好的印象。大家此行不僅結交其他學校的新朋友，也和福島的學生互留聯絡方式，每個人都非常期待明年春天能與日本高中生進行另一場友誼與知識的交流。

後續漣漪效應是最佳CP值

從團員們回來之後所寫的心得報告可以看出，每個人都是收穫滿滿。高雄新莊高中林宴如就說道：「回到台灣後，對於核能發電是熟悉了許多，當電視新聞在報導相關核電資訊時，能夠幫家人指正報導錯誤的部分；除此之外，也藉由這次的活動得知了獲得核能資訊的管道。雖然參訪已結束，但全球的核能發電仍然持續運轉中，對於核能發電資訊的關心也仍然會持續下去。」曉明女中的林佳穎自己的結論則是"If we design the system well, we can prevent the accident from happening."

曉明女中的黃苹萱：「這趟旅行我最大的收穫就是學會了判斷是非對錯的能力，媒體上報導的不一定都是正確的，所以必須要培養獨立思考的能力。像是這次的福島事件，民眾大部分都是從媒體上認識輻射相關的知識，就像輻射值對台灣其實並沒有影響，但卻造成國內人心惶惶。還有民眾對於

核廢料的恐慌極度不理性，受驚的民眾上街頭抗議，即成為媒體的焦點，因此，媒體與民眾互相『激盪』，而造成惡性循環。」南科實中的黃靖雯：「以核能來講，它的好處有很多，雖然壞處就那麼一兩個，卻是威力強大到無法忽視。我們應該怎麼辦？反而跳出第三個選擇，去發展綠能能源？也是可以的，但是那要以長遠來看。發展一項能源並非那麼簡單，是需要經過多次研究、探討、實驗、驗證，這些過程起碼都要好幾年以上，而以我們的需求來看，我們似乎等不了那麼久。那在這種情況下，就只好選擇一個壞處可以避免的方向了，那就是發展它。但是在這之前，人民的訴求應該先被看見！」以高中生的年紀，這些是多麼精闢的見解。

集眾人全力耕耘　結出甜美果實

這次交流之所以能如此成功，要歸功於清華大學李敏教授與戴明鳳教授的精心策劃。行前即要求學生找資料寫報告，行程中督促學生修正簡報內容、隨時補充核能相關知識，返台後再為大家的心得報告訂正錯字、編修格式。也因為心得報告內容實在精彩，戴教授也接洽多家出版社與雜誌社，希望這些心血結晶可以更廣為眾知。而宜蘭大學的黃朝曦教授全程為本團做影像記錄，也陪著學生熬到半夜2點多；謝牧謙博士深厚的核能專業知識與親身經歷，像是一本活的百科全書，讓學生一路挖寶，驚喜不斷。衷心期盼國科會與原能會能繼續資助這種有實質教育意義的活動，一年一年辦下去，科普知識向下紮根的成效，會得到最高的投資報酬率。這些走出去放眼世界的孩子，未來將是主導國家政策的主人，他們會帶領台灣走上正確的道路。

在此要特別感謝日本JAIF國際部的林田志洋與石井敬之兩位先生全程陪同，以及各項聯絡工作的接洽與協助；也要感謝金龍旅遊的行程安排，與導遊王高泰先生專業、細膩的服務，為此行劃下完美句點。



▲圖 13　福島高中學生舉手認同，零核政策令他們擔憂會導致經濟衰退，影響就業機會



▲圖 14　清華大學教授李敏（左起）、福島高中校長本間稔、謝牧謙博士在福島高中校園內的輻射偵測儀前合影

自然能源發電的可能性與極限 對過度期待的警告

文・林勉 譯・石門環

摘要

關於我國自然能源發電可以有效利用到什麼程度、利用的目標、可利用的潛力等經過評估後顯示，最大可利用量大約是總發電量的15%。但在現實上為了達到此目標仍有相當大的障礙，而且在使用自然能源上仍有諸多問題，因此本文以德國為例，審視政策上的問題所在，而在電源構成方面的結論是目前仍將持續以核能、火力、水力為主。

林勉先生為東京大學數物系研究所碩士，曾任職日立製作所、擔任「能源問題發言會」及日本原子力學會Senior NetWork（SNW）委員。林勉先生與SNW多位專家曾於2008年12月、2010年12月來台專題演講，與清大學生座談，並赴龍門核電廠參訪。SNW是由日本產官學界經驗豐富的退休人員所組成，其主要目的在增進公眾、尤其是年輕族群對核能的瞭解。

譯者在獲得林先生同意後翻譯此文，文中對自然能源的優缺點、德國非核政策分析等見解相當發人深省。

前言

311福島事故以來，應脫離依賴核能的風潮高漲，在替代能源方面，自然能源瞬間受到矚目。政府也開始修訂能源政策，並採行積極擴大自然能源的政策，這件事本身是一種趨勢，不得不做，但問題是偏重自然能源的言論過於極端，也就是核能、火力都不用，而一般人也很容易唱和這種論調。令人擔憂的是，如果因政治上的民粹主義過於偏向自然能源，則可能導致將來對經濟、社會無法挽回的不良影響。筆者以為對自然能源的可能性及使用極限應從各種不同角度分析檢討，也要對過度的期待提出警告。

自然能源的特徵

1.優點

所謂自然能源是指太陽能、風力、波潮力、流水與潮汐、地熱、生質能等，屬於大自然的資源，可定常性、反復性、間歇性補充者。

自然能源最常被提及的優點包括（1）不會產生二氧化碳，不必擔心地球暖化。（2）設備一旦製造完成，原則上即不需要燃料費用。（3）屬國產能源，可確保能源安全。（4）屬自然能源，具有容易親近、高度接受性等特性。這些確實是很大的優點，將其作為解決能源資源問題及地球環境問題的王牌，當然應該投注心力。但是，自然能源同時也有重大的問題點，這些問題也必須檢討。

2.問題點

自然能源因為存在於我們的生活場所中，所以能源密度非常小，具有受自然的大變動所左右的特質。另一方面，現代社會是高度的技術社會，必須要有便宜而穩定的大量能源，即使是自然能源也不得不因應此一現代社會的要求。因此，就必須有大規模、集中且有經濟性的設備，為實現這些需求，將會面臨各種困難的社會問題，這些都必須用時間去解決。

目前自然能源因使用成本偏高而無法普及，所以需要各種補助金，這些補助金則反映在稅金及能源使用價格上，由一般民眾及消費者負擔。自然能源因獲得補助而擴大規模，加重政府與民眾的負擔，最後就會超過極限。為了避免此一狀況，必須要有相當大的技術革新來大幅降低設備價格，但是技術上的革新可以回應社會的期待到何種程度則是一個未知數。

大規模使用自然能源會引起新的社會問題，像太陽能與風力這些平日我們習以為常的自然能源將會改變原來的面貌，開始顯現出威脅原先社會的樣貌。例如，巴西、美國等地區，就因其大規模從玉米抽取乙醇作為汽車用燃料，造成玉米的市場需求急速大增而價格飛漲，對以玉米為主食的發展中國家造成經濟上重大的打擊。大規模栽培生質能發電用植物，會和糧食作物的栽培在土地使用上相互競合，可能造成食品價格高漲。而風力發電需要廣大的土地，此外，景觀、噪音、低頻振動、鳥擊等問題也已經顯現出來。太陽能發電規模如果擴大，則會造成大片土地籠罩在陽光無法直射的陰影中，將造成土地的荒廢。地熱發電可能將地下的硫磺、砷等有害物質擴散到大氣中，而且會產生與地方溫泉業者在地熱利用上的權益問題。從這些問題可以想像隨著使用規模的擴大，取得地方民眾的諒解和其他困難的問題也將會一一浮現。

有關這些問題，國外也有場址條件不像日本那麼困難、而能順利擴大利用規模的例子，但如果因此就輕易贊同向國外學習，讓日本也儘速擴大利用自然能源的論調，卻是相當危險的，日本必須充分考慮本身的特殊性與各種限制等，審慎因應。

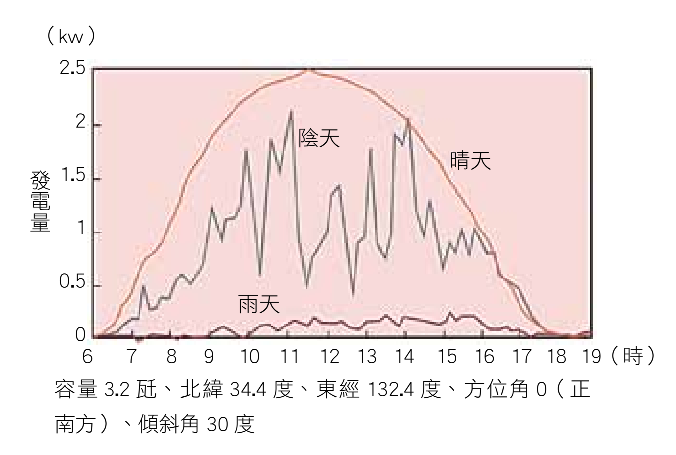
以下就以日本所使用自然能源中著力最深的太陽能、風力為主加以解說。

太陽能與風力發電的問題點與對策

1.出力變動

太陽能與風力發電最大的問題點就是出力（發電量）的大幅變動。太陽能如圖1所示，夜間發電量為零，即使晴天也是類似山的形狀，陰天則隨著雲的變化而急劇變動，雨天則幾乎是零發電。

像這樣的大幅變動，使得太陽能的設備利用率（容量因數）大約只有12%，陸域風力約20%，海域風力約30%。要將其作為穩定電源則需要大型蓄電池或併用火力發電設備作為補償性電源，這些費用極為龐



容量 3.2 瓩、北緯 34.4 度、東經 132.4 度、方位角 0（正南方）、傾斜角 30 度

▲圖 1　太陽光發電之出力變動（春季）（參考資料 1）



▲圖 2 風力發電之出力變動(冬季白天)(參考資料 1)



▲圖 3 風力發電之出力變動(月間)

大,目前所評估的原始發電成本並未包括這些成本。

2.廣大面積

太陽能與風力的每單位面積的能源密度相當低,因此大容量的發電需要廣大的面積,與能源密度最高的核電廠相比,同樣100萬瓩級的電廠,太陽能發電則需要約100倍面積的土地,大約相當於山手線圈內的面積,或是風力發電的340倍。日本閒置土地較少,要取得廣大用地相當困難。

3.促進利用的法律措施

目前自然能源發電的原始成本相當高,太陽能每1度電的發電成本約48元(本文皆為日圓),風力10-14元,水力8-13元,火力(LNG)7-8元,核能5-6元。顯示太陽能發電沒有競爭力,因此世界各國均採取優厚的補貼政策。日本則有引進設備時的補助金制度及「電氣事業者籌措再生能源等相關特別措施法」,對發電事業者設定籌措義務量,並引進「固定價格收購制度(FIT)」。2009年開始施行太陽能發電的FIT,目前住宅用為42元,非住宅用40元,均以剩餘電力為對象,並以10年為期。2011年8月26日國會通過「電氣事業者再生能源電力籌措特別措施法案」,以太陽能、風力、中小水力、地熱、生質能為對象,今後將決定收購價格及期間(太陽能持續僅為剩餘電力部份)。具體而言,依再生能源的類別、設置形態、規模等,依據中立的第三者委員會的意見,由相關大臣(農林水產、國土交通、環境、消費者擔當)協議後決定,此法律自2012年7月1日起適用。

4.今後的導入目標

在政府減少核電的政策之下,今後自然能源的導入目標應會比以前大幅增加,但目前尚未看到詳細狀況。以前資源能源廳的太陽能最大導入量情境目標為2020年1,400萬瓩,2030年5,300萬瓩;其中住宅用3,200萬瓩占6成(約全部住宅的90%)、非住宅用2,100萬瓩占4成。資源能源廳的風力發電最大導入目標為2020年500萬瓩,2030年670萬瓩。獨立行政法人新能源及產業技術總合開發機構(NEDO)在其路徑圖上對風力發電則有較高的預估量,2020年為1,000萬瓩,2030年為2,000萬瓩。

這些目標值是從現在的狀況執行前述各種促進政策,盡最大努力才能累積而成。另一方面,除了這種累積方式以外,對於日本有多少可開發的太陽能、風力資源也有必要進行評估,然後再就可導入的

潛力加以說明。

5.日本的導入潛力

有一說法指出太陽能與風力資源是無限的，但實際上是仍有各種限制和極限，環境省為了了解其極限所在，於2011年3月彙整完成日本的「再生能源導入潛力調查報告」。此一報告分3階段評估導入潛力，第1階段定義「賦存量」，意即不考慮任何限制的最大潛力。第2階段定義「導入潛力」，亦即考慮在能源開發、使用上相關的各種限制的主要原因後，再考慮可否採用的潛力。第3階段則定義「不同情境的可導入量」，其基本情境為假設採行「再生能源的全量固定價格收購制度」（FIT），且因技術革新而可降低成本等，再進行事業收支的模擬，總計稅前收益率大致達到8%以上者。彙整太陽能發電及風力發電的評估結果分別如表1、2所示。

太陽能發電可分為住宅用及非住宅用，除了老舊及特殊住宅以外，原則上視為可全部採用太陽能發電，此報告書中僅評估非住宅用。非住宅用包括公共建物、發電廠、工廠、倉庫、低利用及未利用地、耕作放棄地等，但必須考慮經濟上是否划算？依其不同的條件情況會大幅左右可導入量。雖然導入潛力合計為15,000萬瓩，但若只有FIT則可導入量為零，需在FIT加上補助金或技術革新可使設置費用減半時才有可能導入利用，由此可知前述2030年非住宅用太陽能發電目標值2,100萬瓩是相當嚴苛的極限值。

海域風力發電的可導入量潛力較大，與陸域風力合計達190,000萬瓩。在只有FIT的情況下，只有陸域風力可利用，陸域風力的2030年目標值大於2,000萬瓩，可說仍有餘力。目前雖以陸域風力為主體，但海域風力的技術革新如果有所進展，則其潛力相當大。但日本陸域風力有各種許可管制，因此需要數年的興建時間，而且電力公司的購電計畫只限於可因應不安定電源的範圍內。另外，想投標的業者非常多，為了易於得標

表 1　太陽能發電（非住宅）的可導入設備容量（參考資料 3）

設備容量（萬瓩）	導入潛力	不同情境的可導入量		
		FIT 對應	FIT ＋補助金	FIT ＋技術革新
公共用建物（學校、市政府等）	2,300	0	0 ～ 1,000	0 ～ 1,000
發電廠、工廠、倉庫等	2,900	0	0 ～ 1,400	20 ～ 1,400
低、未利用地（最終處置場等）	2,700	0	0 ～ 130	0 ～ 130
耕作放棄地（森林化、原野化）	7,000	0	0	0 ～ 4,700
合　　計	15,000	0	0 ～ 2,000	20 ～ 7,200

表 2　風力發電的導入潛力（參考資料 3）

設備容量（萬瓩）	導入潛力	不同情境的可導入量		
		FIT 對應	FIT ＋技術革新	FIT ＋補助金
陸　域	28,000	2,400 ～ 14,000	27,000	13,000 ～ 26,000
海　域	160,000	0 ～ 300	14,000	30 ～ 33,000
合　計	190,000	2,400 ～ 14,000	41,000	13,000 ～ 59,000

而縮小規模，導致小規模風力太多；因此，日本風力發電具有小規模、建設期間長的特徵，與國外案例相比，對業者較不具誘因，所以實際上業者還是以投入國外的風力市場為主。

此外，環境影響評估的要求也愈趨嚴格，環境省從2012年起將風力視為與核能、火力一樣，成為法律上環境影響評估的管制對象，如此將導致建設時間更為長久，可預期狀況將更加嚴苛。風力利用的潛力雖高，但也必須考慮其集中在部分地區的侷限性。以陸域風力而言，75%的利用潛力集中在北海道、東北地區，海域風力則約70%侷限在九州、北海道、東北地區，均與電力需求較大的地區相距太遠。為能有效利用風力，必須擴充全國性輸電網，這也需長時間及龐大的投資。

自然能源發電量的規模

1.太陽能發電

2030年太陽能發電的最大導入目標為5,300萬瓩，即使可以達成此目標，一年發電量約560億度（以設備利用率12%計），是日本一年總發電量1兆度的5.6%。

2.風力發電

同樣，NEDO的2030年風力發電最大目標為2,000萬瓩，即使可以達成此目標，一年發電量約350億度（以陸域風力為主、設備利用率20%計），占總發電量的3.5%。

3.其他自然能源發電

依據環境省的導入潛力調查報告書，中小水力的可導入量為110-300萬瓩，地熱為110-480萬瓩，合計為220-780萬瓩，只有總發電量的1.5-5.4%（以設備利用率80%計）。至於其他的自然能源，有的還在研究階段，或是導入利用的可能性較低等，實際上尚未達到定量性評估的階段，但是這些能源不像太陽能及風力那樣的變動性電源，而是安定電源，所以便利性較高。

4.自然能源全體

綜上所述，自然能源最大可導入發電量合計約占總發電量的15%，這是依據潛力調查的上限值或是政府機關的最大目標值，執行上仍有相當大的障礙，2030年只能說接近最終目標而已。而且要達成所設定的目標，除了需要不少補助金、獎勵金以外，也必須要有電源安定化投資等能源政策，並大幅降低成本，謹就這些能源政策的問題點說明如下。

自然能源政策的問題點

1.德國的政策

德國常被作為自然能源的成功案例，德國於1991年採行固定價格收購制度（FIT），2010年底總電力消費量的17%來自再生能源。日本也有許多人主張學習德國，但實際上真的需要學習德國嗎？其中第1個主張就是調漲極少的電費就可以負擔FIT的費用，今後如果成本降低，將可達到與現有電源相同水準的經濟性。但實際情況又如何呢？FIT的收購電價與躉購電價的價差所需追加的負擔費用，在2010年的1年間高達88億歐元（約1兆日圓），而且因收購期間長達15-20年，此一負擔金額也將持續到2030年，加上每年新的機組投入運轉，此金額也將持續擴大。

第2個主張是削減二氧化碳排放的效果相當顯著，但為此所支付的成本卻也非常高，因此，實際效果與費用相比可說相當低。風力發電削減二氧化碳的成本為每噸52歐元，太陽能發電則為每噸716歐元。另一方面，與國際上二氧化碳排放權價格的行情

每噸15-20歐元相比，風力發電約3倍，太陽能發電約30倍。

第3個主張是再生能源相關產業可創造相當大的就業效果，但太陽能發電與半導體均是同樣單一產品（模板）的大量生產，而這是中國專長的領域，以壓倒性的低價在世界上占有率約60%，因此對引進太陽能發電的國家而言，實際上對其產業、就業的貢獻度並不如預期的高。

表3顯示德國最近10年發電量構成的年度演變狀況，太陽能、風力確實有顯著的成長，但風力已達到飽和；實際情況是實施FIT後20年，太陽能只占總發電量的2%，風力為6%，我們也必須了解這些量相對於日本發電量的比率分別只有1%及3%。

2.日本的政策

日本的FIT制度才剛開始，還無法看到影響如何，所以我們必須好好審視並學習比我們早20年實施此制度的德國實際的狀況。極端的補助政策將給未來留下重大的負擔，造成日本經濟上的黑洞，所以採行平衡的政策至為重要。

日本的能源環境政策中曾經大張旗鼓實施的「生質能源日本戰略」，在2002年12月內閣會議通過，這是至今已投入6.5兆日圓的巨大計畫。其主要著眼點為防止地球暖化、形成循環型社會、培育新的具競爭力的策略性產業、農林漁業的農山漁村活性化等。為實施這些策略，希望在全國指定的市町村實現生質能源城鎮，但實際狀況如何呢？從總務省在2011年2月發布此一計畫的現況調查結果看來，以農林水產省為主的6個省所參與的214個事業計畫完全沒有成效可言，甚至無法掌握92個事業計畫所使用的費用，現況相當嚴峻。

能源環境事業無論如何總會和地方自治體有所牽連，有些事業需要進行許多研發作業，因此在研究設備等硬體方面投入相當多的預算；但實際研究方面卻心力不足，只是空有目標，也無法預期是否可以達成；此外硬體設備的營運管理預算也不足，效果不彰。將來要大規模利用各種自然能源時，應有再次發生以上缺失的認知。前述事例就是一個不自量力、以冠冕堂皇的美麗辭彙所包裝出來的失敗政策，今後必須記取此一教訓。

電力組成的理想配比

1.總量構成

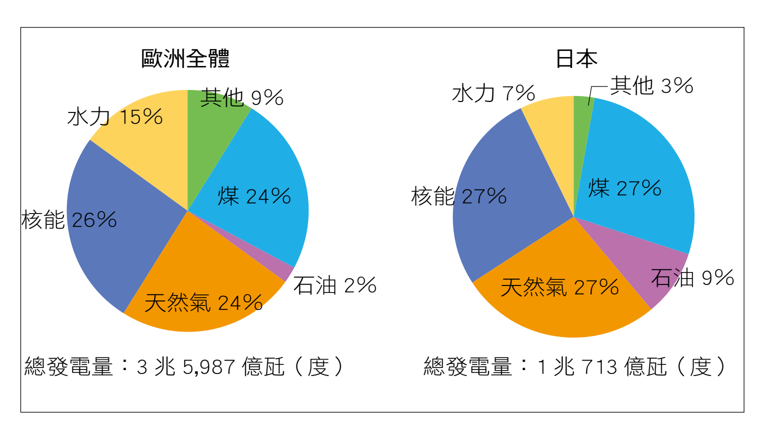
由以上可知日本放棄核能、單單仰賴自然資源，因此應就能源組成的理想配比仔細思考。德國決定放棄核能，採取強化依賴自然能源的政策，我們必須了解德國在與鄰近諸國充分合作之下採行平衡能源配比的

表 3 德國發電量構成的年度演變（參考資料 4）

億度（KWh）	2000 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年（%）
合計	5,720	6,290	5,710	6,300	5,900	6,140（100）
再生能源合計	380	740	910	920	960	1,040（17）
風力	94	310	400	406	390	365（6）
生質能源	25	140	194	199	260	291（5）
水力	260	273	285	270	247	259（4）
太陽能	0.6	22	31	44	66	120（2）



▲圖 4　歐洲的天然氣輸送管線網路（參考資料 1）



▲圖 5　歐洲全體與日本 2010 年電力構成比較（參考資料 3）

政策。如圖4所示，歐洲遍布天然氣管線網路，俄羅斯、北海油田、非洲都可提供豐富的天然氣；另外，挪威、瑞典等北歐國家具有豐富的水力資源，北海沿岸地帶經常吹著強風，適合風力發電的地方相當多；南歐則受惠於強烈的太陽能，德國有豐富的煤炭資源，法國則與日本一樣沒有能源資源，因此很早就採行強化核能的政策，提供近80%的電力，剩餘電力則輸出至周邊諸國。我們必須了解整個歐洲的能源使用環境，德國即使廢核，仍可由法國輸入核電，也可仰賴北歐的水力及天然氣管線網路，這和日本島國的天然地理環境有相當大的差異，輕易的向外國學習的主張無法成立。

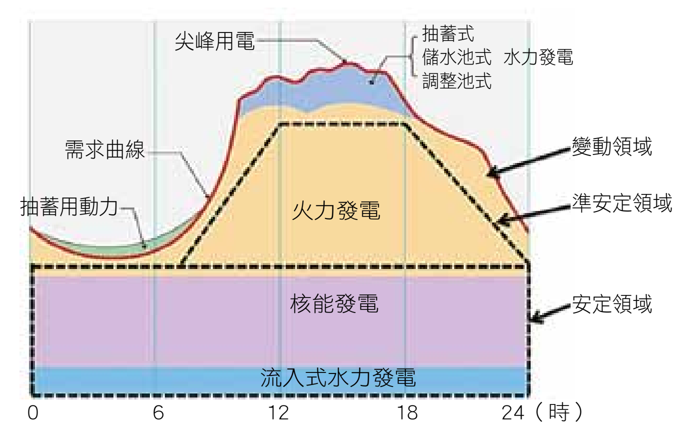
圖5顯示歐洲與日本的電力構成，德國在整個歐洲各種能源的電力構成中實施獨自的能源政策，發電量約占整個歐洲的1/6，所以我們必須理解對整個歐洲而言，德國改變核能政策的影響程度會被稀釋變小。另一方面，日本發電規模約歐洲的1/3，以單一國家而言，這是巨大的發電量，電力構成與整個歐洲相當類似，具有相當的均衡性，一個國家的能源政策關係到該國的命運，必須考慮能源安全保障來因應。

放棄核能而偏向自然能源會有前述的一些重大問題，現實上不可能實現；即使不用核能而改用天然氣，因日本沒有天然氣輸送管線，必須全部以液化天然氣（LNG）用專門車輛運送。而為了使用LNG，必須在其輸出、輸入港口興建液化專用設施，因此需要鉅額的投資，也必須以長期採購契約的方式才有可能實現，日本的電力公司以長期契約確保定量的LNG，此次在大部分核電廠停機後無法啟動運轉的情況下，各電力公司均擴大LNG的輸入量，長期契約以外的需求只能在即時交易的現貨市場購買。LNG市場以長期契約為主，即時

交易的市場本就很小，若需求擴大，則價格上的反應相當敏感，2011年3月以後價格高漲，11月中旬時約上漲8成。能源就像這樣容易受到國際市場的影響，日本若提出非核政策，必須充分考慮LNG、石油、煤等主要能源資源的價格將會代償性高漲。

2.考慮需求依時間變化的電力構成

能源構成除了總量的理想配比以外，也必須考慮用電需求依時間而變化的特性，圖6為日本福島事故以前的狀態，白天尖峰時與晚上需求最低時相差一半，在這樣的狀況下需思考如何將自然能源納入。若以風力發電及太陽能發電為主，在有些時段發電量為零，顯然無法因應需求。此需求曲線中如虛線所示，可區分為安定區域、準安定區域、以及變動區域，基本上在安定區域中以夜間最低需求用電量作為固定必要發電量，此部分還是以安定的電源為最佳選擇，以往以水力、核能為主，也可加入自然能源電源中較安定的中小水力、地熱發電等。準安定區域中變動的部分為直線，所以除了像太陽能、風力那樣急劇變動的電源以外應可因應。目前此一區域的電力由火力供應，但從降低二氧化碳排放的觀點看來，有必要儘量減少化石燃料的電力。核能也容易因應這種程度的變動，故可增加核能比率來因應，這是最經濟的方式。當然太陽能及風力也可以因應出力安定化的電源，但需要龐大的投資，基本上以經濟性評估的觀點而言實不宜採行。圖中最上部的變動區域從發電量而言，接近太陽能及風力發電量，但我們不能期待真正需要用電時即可供電，故必須以火力發電作為後備來因應變動部分的電力，也就是說，夏天白天尖峰時太陽能發電可以大展身手，夜間及強風、天氣不佳時風力就能一展所長。



▲圖 6　我國電力需求的時間變化（筆者在參考資料 1 加註）

結語

以自然能源發電中最大限度的可利用量而言，太陽能及風力約9%，中小水力及地熱等安定電源約6%左右。要將這些目標付諸實現仍相當費力，現在被視為最可能實現的是住宅用太陽能發電，雖然有2030年約90%住宅設置的目標，但放眼自家周邊，幾乎沒有人在使用，而且每一戶近300萬日圓的投資是否可行仍是疑問。德國實施強力的FIT政策，20年間只是提供相當日本1%的發電量，對此我們應有所認知，至於其他的自然能源發電目前還不到大規模開發的階段，發電主力不得不用核能、火力、水力。

※日文原文刊載於日本原子力學會誌，Vol. 54, No. 2（2012）

參考資料：

（1）日本原子力文化振興財團「核能與能源」圖面集（2011）。

（2）2010年度「再生能源導入潛力調查報告書」，2011年3月。

（3）依據IEA「Renewable Information 2010 and 2011」作表。

（4）淺野賢司，「再生能源政策論」，Energy Forum社（2011）。

核能與再生能源的調和

文・Tamotsu Ishii　譯・朱鐵吉

再生能源的實際情況

2012年日本福島核電廠因海嘯發生嚴重事故，顯然可以看出核電廠的技術，尚處在發展階段。特別是日本的核能技術，和國家的風土民情尚未十分協調，讓很多人增添不少麻煩。

長久以來，反對核能的聲浪本來就很高，均期待著以再生能源代替核能，但是實際上發展還不成熟，無法替代核電。因此，我首先來談談再生能源的實際應用情形。

再生能源應用在發電，目前是以風力、太陽光、地熱、潮汐能、生質能和廢棄物燃燒的熱能為主。美國利用太陽光，法國利用潮汐能，其發電量均貢獻不大；水力發電是自然能，與其他再生能源有所區別。抽蓄發電是與其他能源組合的一種發電方式。

2011年8月國際能源署（IEA）的能源統計（2008年的實績）中指出，歐洲5個主要國家及其他11國，和日本各項發電的情形如圖1所示。

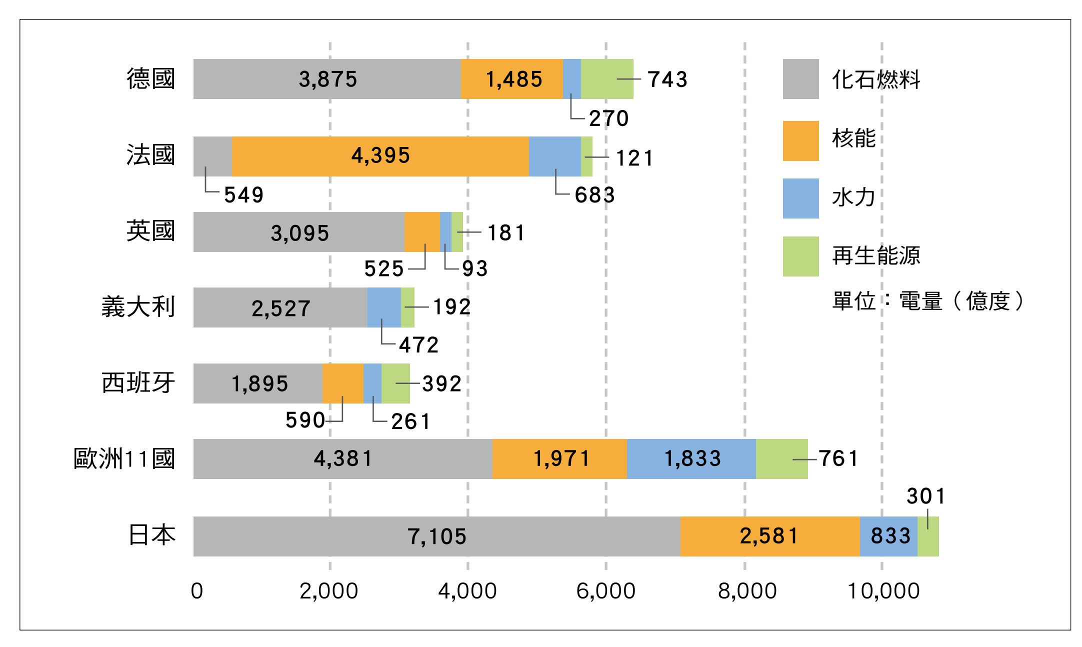
再生能源如圖1以及表1顯示，風力和太陽光發電的規模及設備容量，其設備利用率—風力為20-25%，太陽光約為11%。表1列出的數據可以看出再生能源實際的發電量供給能力有限，其中利用風力和太陽光兩者發電量最多的國家，為西班牙11.1%、德國7.1%。

德國的政策追求再生能源

德國梅克爾總理表示2022年前，將全面廢核。2011年德國下令關閉7個停機檢修的機組（700萬瓩），電力供給量減少

表 1　各國發電量的組成（%）

	總發電量（億度）	化石燃料	核能	水力	風力	太陽能	生質能	廢棄物	地熱	潮汐能、其他
德國	6,372	60.82	23.30	4.23	6.37	0.69	3.12	1.47	0.00	11.65
法國	5,749	9.56	76.45	11.89	0.99	0.01	0.37	0.66	0.00	2.12
英國	3,894	79.50	13.48	2.38	1.82	0.00	2.08	0.74	0.00	4.64
義大利	3,191	79.20	0	14.80	1.52	0.06	1.38	1.02	1.73	6.00
西班牙	3,137	60.41	18.80	8.32	10.26	0.82	0.79	0.50	0.00	12.48
歐洲 11 國	8,946	48.97	22.03	20.49	2.57	0.02	4.39	1.40	0.02	8.50
日本	10,820	65.67	23.86	7.70	0.24	0.21	1.39	0.68	0.25	2.77



▲圖 1　歐洲各國和日本的發電量（2008 年實績）

10%，這些電量正好是風力和太陽光發電的總和（2008年）。另外，其餘運轉中的10個機組，將在2022年前停止發電，德國政府期待能以增加再生能源，以補足核能發電量缺口。

目前德國電力不足的部分，是向法國（76.5%的核能）及捷克（25%的核能）購買。德國已由電力出口國成為進口國，對此梅克爾表示，法國與捷克的核電廠，比德國的機組危險性高，因此她主張兩國核能發電產生的電力，不要輸入德國。

德國為了推廣再生能源的利用，實施再生能源饋電法（feed-in-tariff），以「保證最低收購價」購入再生能源發電電力。如此一來，家庭與企業電力消費者的電價將跳升。

歐洲五大電力消費國於2011年6月的電價（Energy Portal 2012.1）顯示於表2，由表中得知義大利沒有核電廠，電價很高。德國如果依賴風力和太陽光，電價亦會節節高升。德國企圖大量導入風力發電，寄望量產則電價就會下降。其作法可能會得到某種程度的效果，但是從表2可以看出，西班牙風力發電的占比達10.26%，電價還是比法國和英國高。又，風力和太陽光發電非常不穩定，必須開發智慧型電網來因應，並需要配合加速發展優良蓄電設備。若能發展到穩定供電後，才能做為燃煤和化石燃料的後援電力。

德國的風力發電也有公害，低頻噪音與破壞景觀引發爭議，也衍生了鳥類的保育問題。因此內陸增加安裝風力發電設備，將受到限制。

表 2　歐洲主要國的電價

	家庭用電價		工業用電價	
（單位）歐元 / 度	一年 3,500 度為止	一年 7,500 度為止	一年 100 萬度為止	一年 2,000 萬度為止
德國	0.2671	0.2511	0.1288	0.1149
法國	0.1396	0.1254	0.0721	0.0659
英國	0.1587	0.1432	0.1095	0.0971
義大利	0.2041	0.2568	0.1478	0.1331
西班牙	0.2013	0.1839	0.1189	0.0975

日本向德國學習些什麼呢？

地震和海嘯產生大災害，福島核電廠發生嚴重事故。日本的能源，特別是電力，遭遇到史無前例的危機。國民很難拭去對核電的不信任感，社會瀰漫著一股不如擺脫核電，依賴再生能源的氛圍。各界迄今仍一再評估再生能源經濟和技術的可行性。

日本的再生能源為風力、太陽光和地熱，目前對能源的貢獻度不到1%。大震災以前，核電的貢獻度為23.9%。以長遠來看，企圖一再擴增再生能源、以再生能源代替核電，以現實的觀點來看，實在是不可能的任務。

以經濟面來說，廢核會出現很大的問題。如果日本停止核能發電，9大電力公司每年會增加負債2兆日幣，如此龐大的費用將會轉嫁給全體國民負擔。以消費稅率計算的話，將會增稅1%。

為了促進再生能源的利用，2012年7月，日本開始以固定價格收購風力發電電力。這就是學習德國的做法，但是電價逐步走高，是不可避免的。

以日本的現況，核電廠如果再不陸續重起運轉的話，不只是電價上升。政府面臨福島事故放射性污染的除污費用和核子災害的賠償，以及再生能源的開發經費，勢必會採取加稅手段。能源供應無法確保穩定，能源不安定則國力衰退，國民會產生強烈的無力感。

這種事情作者要籲請日本全體國民多予忍耐、妥協，不要情緒化選擇發電方式。本文以實際數據讓日本國民瞭解再生能源的利用情形，期盼能做出最佳的判斷，不會被非理性思考左右。

目前，為了找回日本的活力，必須活絡經濟，而最重要的是要確保能源的安定。以日本的能源組成來看，不再使用核能發電的話，要確保能源總量的穩定，電費不漲價，則是非常非常難的事情。

來源：Tamotsu Ishii, Energy Review, No. 374, p.12-13, March 2012 （Japanese）

「2012 輻射與核電知識訪日交流團」收穫滿載

強化核安措施 走出福島陰影

文．編輯室

自1986年以來，台灣與日本每年都進行核能安全技術與經驗的交流，至今年已經是第27屆，今年輪到台灣主辦，於7月24-25日假福華飯店舉行。本屆日本代表團規模空前盛大，共計有31位代表訪台，台灣核能界也是熱烈參與，共有100餘位人員與會。此外，亞東關係協會會長廖了以、日本交流協會副代表佐味祐介先生均應邀蒞會致詞。

今年會議的主軸圍繞著「福島事故後的經驗與教訓」，議題範圍涵蓋了「福島事故後核電廠的後續強化措施」、「福島事故的學習與改進」、「社會的影響、核電廠的除役及去污」。雙方共發表17篇論文並互相討論交流，研討會之後另安排日本代表團參訪核二廠，以了解台電公司在福島事故後做了哪些具體的強化措施。

專題演講：福島事故後的能源政策

新能源政策後台電的因應措施（台電公司專業總工程師 蔡富豐）

為因應政府公布的「確保核安、穩定減核、低碳環境、邁向非核家園」能源政策，台電公司實施完成所有電廠核安總體檢、完成歐盟的壓力測試、訂定斷然處置程序；降低電力需求與尖峰負載、發展能源技術、推動替代能源；發展多樣性再生能源、擴增燃氣電廠、建構智慧電網等措施，建造低碳與高效能的系統，以確保能穩定供應電源，達成政府要求的減碳任務。

全球能源挑戰與日本能源政策（日本EIEE理事長 小山 堅）

亞洲對石油需求最巨，又以中國、印度對石油需求最大，中國成為全球最大進口國；台、日對石油依存度上升70-80%，美國已擴大國內生產，降低進口依存度。中東局勢影響油價，去年春天中東政權衝擊，伊朗是最大輸出國，目前正發展核武令局勢更加緊張。很多國家想利用天然氣發電，中國、印度需求量遽增，日本第三。卡達是液態天然氣最大國，近年輸出量大增；美國頁岩氣開發成本下降，未來可能成為輸出國，有1億噸的輸出能力。美國液化天然氣太便宜，可能會衝擊核能與燃煤火力。亞洲天然氣價格是美國的8倍。核能是准自產能源，可視為國產的潔淨能源。

日本目前面臨貿易赤字的困境，為促進核安，未來若新建核電廠成本勢必上升。節能措施已經使日本產業在經濟競爭上處於劣勢，本人肯定核能仍占日本能源的重要地位。

議題一：福島事故後的教訓與強化措施

1.福島事故後壓力測試之後續強化（原能會核能管制處 吳景輝）

原能會已經確認台電公司在福島事故後相關因應對策與實施的總體檢，台灣現有的核電廠無立即危險，但超出設計基準部份仍應加強。此外，台電公司針對重大天災應持續加強因應措施。

2.福島事故後我國輻災應變之強化措施（原能會核能技術處科長 林繼統）

福島事故後，我國緊急應變計畫區從5公里擴增至8公里；若發生複合型天災時，緊急應變層級將提升至行政院；因應境外的核災應變，增加國際間合作；新增其他行政組織如教育部、國科會、財政部、外交部納入緊急應變系統；增加應變基金從每年2,400萬至5,400萬；強化緊急避難與收容措施、3G行動發布警報與簡訊通報、設立碘片貯存庫；設置緊急應變防輻、防震建築。

3.日本關西電力核電廠的安全強化措施（關西電力核能部總經理 吉原健介）

廠外應變防災是政府負責，機組能否重起的考量在於廠內的安全對策是否足夠（美國NRC機組重起規範包含廠外應變）。關西電力所屬核電廠安全強化措施-確保外部電源、多重廠內電源供應與冷卻系統、多重圍組體冷卻系統與裝設過濾系統，以確保圍阻體的完整；加強溝通、緊急應變能力。

4.核能從業人員支援行動及防災系統檢討（JAPC經理 竹內 聰）

東海事故後，日本才建立合作支援機制，成立特別設置法。避免污染擴大，禁止居民從自家中攜出物品，當要求居民棄置物品時令人非常為難。因曾遭受核子事故，已有經驗，JAPC自主性前往福島支援、監測輻射劑量。免震機能的對策本部設置的據點，應特別考慮。日本全國各核能從業公司災後都至福島支援，但並未進入核電廠緊急應變中心援助，警察對疏散區人員出入進行管制，但仍有闖空門的現象發生。日本並未立法強制疏散，今後應制定相關法令（尤其是電廠周圍5公里PAZ區域）。

5.機組斷然處置程序分析（台電公司核能安全處 江授全）

發生核子事故10分鐘後電廠進入全黑狀態，如果維持華氏1,500度尖峰護套溫度之下，就不會發生爐心熔毀，也不會產生氫爆，因此不須進行疏散。為避免溫度過高，現有運轉中的兩座沸水式電廠在1個小時的準備時間要求下，各需要370和650gpm的緊急注水；而壓水式則需500gpm蒸汽產生器緊急注水。各項緊急注水系統已開始進行改善或增加設備中。

6.台灣核電廠PRA在天然災害上的應用（核能研究所副研究員 趙椿長）

台灣核電廠目前都已完成地震與颱風的安全度評估(PRA)模式，福島事件發生後，針對運轉中核電廠重新進行地震餘裕評估，各電廠將陸續於2012-2013年完成初步的模式改善。各電廠均規劃於2013年開始進行海嘯PRA模式發展工作；興建中的龍門電廠，為降低地震所引發的風險，規劃新增氣渦輪發電機作為後備廠外電源的風險影響評估。

7.加強壓水式反應爐的安全設計（三菱重工核能系統部經理 山本知史）

311強震發生後各PWR機組都能安全停機，直到超高海嘯發生，喪失廠內、外電源才引發福島事故。安全停機系統、移熱系統、隔離輻射系統（圍阻體）是核能機組安全的保障；重複、多樣性以及各自獨立的深度防禦系統是絕對必要。BWR具有先天性

的安全設計，可預防電廠全黑與熱沉失效狀況；深度防禦設計的邏輯可確保核安。

8.電廠供應商加強安全的研究過程（日立奇異公司核能服務事業部處長 佐藤深一郎）

日立公司參與福島電廠復原工作，進行壓力測試；參與事故調查工作，擬定短、中、長期加強安全計畫。發生核子事故時會以保住反應爐為優先考量，但是遇到福島等級的事故，調查結論已確定是人為疏失，日立公司未來將提出因應類似台電斷然處置措施的建議，目前仍採較保守作法。

議題二：福島事故的學習與改進

1.龍門電廠現況及未來展望（龍門核電廠經理 游錦康）

目前尚在試運轉階段，有122個子系統已移交，有91個全系統已移交。目前書面回覆資料已陳送經濟部國營會，並整理內容重點提出「核四之計」具體解決方案及執行現況報告：

第1項：詳擬設計、設備、施工及試運轉測試所有問題。第2項：研擬徹底解決上述問題所需工作項目。第3項：詳擬至完工尚待完成的工作項目。第4項：擬編組任務小組，研擬各任務小組責任及工作細項。第5項：依工作細項，聘國內外具經驗的專業人士，獨立作業。第6項：研擬獨立稽核機制。第7項：擬定詳細切實的工程計畫及進度。

2.用過核燃料乾式貯存的安全管制（放射性物料管理局薦任技正 謝志添）

核一廠用過核燃料現有貯存量已快逼近設計容量，預估2014年將貯滿；核二廠預估將在2016年貯滿，廠內乾式貯存設施作為台灣用過核子燃料中期管理策略。所有設備的操作要求及相對應輻防作業的整合，必須在試運轉階段得到驗證；原能會將持續與國內外專家或專業機構進行技術合作，加強公眾參與資訊透明化。

3.核能人才未來的發展（JAEA核能人才發展中心主任 山下清信）

1994-1995年日本核能相關學系學生人數開始減少，福島事故後年輕人對核能興趣驟降。因日本企業向海外發展增加，高中畢業生以核能為理想科系人數有緩升現象；畢業後參加就學說明會人數，2010年創新高，但2011年後遽降。日本年輕人國際化不足，因而成立JN-HRD Network，與國外合作，提升核安意識。對核安有興趣的外國學生，Network也提供支援，共有23所大學，66個機構加入Network。

4.核電廠40年壽命總評估（JANTI策略計畫室總經理 永田匡尚）

核電廠是否應除役，應針對每個機組狀況經過縝密評估後再決定。日本核電廠已經過3次、4代的改良，新世代機組的非計畫停機次數幾乎已完全改良，而舊型機組也已穩定改善；第一代機組的累積輻射劑量已經改善，與較新機組相差無幾。

議題三：社會的影響、核電廠的除役及去污

1.311福島核災事件對台灣社會的衝擊及風險溝通策略的啟示（中華核能學會顧問 謝牧謙）

311總損失40兆（含核災損失），占日本全年GDP 1/4。目前並無人員直接因核災死亡，媒體錯誤報導使民眾誤以為很多人死於輻射。

日本政府的風險溝通經驗：政府未能掌握正確的狀況，降低民眾對政府的信心；核

能專家不在現場；風險評估和國外有出入，引起外國認為日本政府有所隱滿的猜疑心；日本政府的公告：曖昧又矛盾；資訊公開太慢，嚴重影響大眾對日本政府的可信度；草率的風險評估，SPEEDI試算結果20公里圈外也有放射性物質擴散。

具體作為及行動：適時提供公開、可靠、透明的資訊；建立長期且穩定的溝通協調機制；建置風險溝通管道，加強提升與媒體的良好互動關係；加強與國際進行危機處理的資訊交換；避免發生「精英恐慌」（災難發生時及發生後，決策者假設災民會陷入危險中，成為危險的來源。導致精英做出錯誤的判斷，保護了財物而非民眾）。

2.核能電廠的除役（台電核能後端營運處副處長 李忠正）

除役應是整體規劃，分級實施，政府宣布核電廠不延役，打亂台電的腳步，核一、二廠延役申請喊停。電廠除役將採「拆除反應爐」的方式，25年內拆除完畢，停止運轉前3年需提出除役計畫。核一廠執照將於2018年底屆滿，所以必須於2015年底提報除役計畫，在此之前還須完成環境影響評估。為推動除役規劃工作，台電在2011年9月成立專案小組執行。核電廠若不延役，將衝擊後端基金收取不足，進而影響除役工作所需費用，至少希望能如期運轉40年。

3.核能民意調查結果（JAERO計畫部部長 船越 誠）

文化振興學會，韓國也有類似組織，每年到40個高中宣導，讓學生實際測量輻射，每年進行核能輿情調查（2009年除外），詢問的問題不同，獲得的結果也不同。對輻射越擔心者，對自然環境輻射知識越不足。年輕族群：核能恐怖，但不能逃避，必須勇於面對。贊成廢核，但須有替代方案。福島事故後有多種意見，不知該信誰。希望非核能專家別發言，政府應培養更多核能專家。

一般大眾希望獲得的是「正確資訊」，我們有責任提供更多更易懂、正確知識。學校老師對核能並不了解，無法解惑。學生在媒體上看到的都是反對意見，藉由宣導活動才獲得正確內容。

4.福島一廠現況與除役的挑戰（東京電力核能品質安全部資深工程師 佐藤雄一）

福島一廠輻射釋出劑量已降至事故發生後84萬分之一。滯留水處理配設管線達4公里，將縮小循環水迴路。在福島二廠設立支援中心，對外聯絡窗口，每天連結一廠推動各項運作，以視訊會議檢討、研發。暫時計畫已經啟動，在10年內將燃料從反應爐內取出；政府支援燃料取出與除污的研發行動；發生許多預想之外的狀況，需要彈性的時程管理；感謝世界各組織提供的忠告與建議。

5.避難管制地區的除污作業（鹿島集團核能部資深經理 奧津一夫）

除污前先評估測量劑量，除污後再測劑量。除污產生的放射性廢棄物暫存在附近並進行監測，最後再集中於福島縣將設置的貯存設施。暫存地點與當地居民討論通過，10公尺內不得有人接近，另蓋中期儲存設施，仍需由環境廳與民眾溝通。環境廳承諾3年內完工運轉，但地點仍未定。銫的半衰期雖為30年，實際測量後應降為3-4年。

綜合討論時日方代表表示，台電的斷然處置可說是世界首創，非常值得日本學習。追求核能安全是永無止境的，只有提昇台日雙方的核能技術與經驗交流，持續追求最高標準的安全文化，才能恢復公眾對核能的信任與信心。明年第28屆台日核能安全研討會將於日本舉行，相信會有更多智慧結晶值得分享與學習。

民意驅策日本
邁向新能源政策

文．編輯室

日本政府以核能在2030年貢獻的電力比例，提出3種方案實施民調。民調結果顯示，民意趨向減核的壓力步步進逼－絕大多數日本民眾，贊成部分減核甚至廢核。各界意見徵詢及最後決策，將會在2012年底前，由國家政策小組公布結果。

由日本經濟大臣古川元久領軍的國家政策小組，截至目前為止，已經匯集民眾意見並舉辦多場地方公聽會。政策小組持續蒐集媒體民調資訊，於8月底公布「邁向策略——公眾辯論指向之民心所繫」報告。結果顯示，絕大多數民眾支持減核的兩種方案。

簡而言之，這三種方案為0%（的核電）、15%和20-25%。在福島事故之前，日本核電發電比例為26%，國家政策原本預計在2030年前提高到45%，以作為減碳手段。

由國營媒體舉辦的12次民調顯示，零核約有31-49%的民眾支持；15%核電比例，則有29-54%的民眾支持。支持20-25%核電比例的民眾有10-17%，媒體自行增加的選項－不特別設定核電目標，則有5-15%的民眾支持。

由公聽會紀錄分析，國家政策小組拆解民眾支持零核的理由：名列前茅的是安全考量和對健康的影響；第二名為使用核能的倫理爭議，因此偏愛再生能源。至於廢棄物



日本國家政策小組的三種方案及比較					
	311 福島事故前狀態	事故前政策	事故後方案一：0%核電	方案二：15%核電	方案三：20-25%核電
總電量	0.0011 兆度	0.0012 兆度	0.001 兆度	0.001 兆度	0.001 兆度
化石燃料	63%	35%	65%	55%	50%
核能	26%	45%	0%	15%	20-25%
再生能源	10%	20%	35%	30%	25-30%
離碳排放目標	-0.3%	-30%	-23%	-23%	-25%
民眾支持度	----	-----	31-49%	29-54%	10-17%

備註：以上調查結果為綜合 12 次民調

管理的議題，則不是民眾選擇廢核的主要理由，位居最後一名。

由媒體舉辦的網路投票則可發現，民眾對於再生能源及開發新能源，有廣泛的支持度。在15%和20-25%核電比例的選項中，民眾支持核電的原因，為可靠性和廢核對就業機會、工業和經濟的影響。

電力公司、政府支持度低落

311福島事故時，東京電力公司應變能力嚴重不足，一再隱瞞事實，導致日本民眾對眾家電力公司信心低落。民調結果更為日本電力公司的景況，再添陰霾。日本大多數反應爐在停機、重新裝填燃料和檢查後，始終無法獲得重起，電力公司蒙受極大財務壓力。當民調問及民眾支持何種選項和信任的資訊來源時，整體而言，僅有3.5-3.9%相信電力公司給予的資訊。其中兩次民調顯示，支持零核的民眾中，沒有人認為電力公司可信賴，另一次民調中，數據則為1.1%。民眾更信任非營利組織（30.8-33.8%）和網路（13.7-21.8%）。

日本民眾對政府的支持度只比核電公司稍高，整體大概落在6.0-6.3%間。在選擇15%核電和20-25%核電民眾中，電力公司與政府的支持度稍高，最受支持的訊息來源則是核能專家，有18.2-21.4%的人支持。

專家指出　減核勢必帶來高電價等後果

東京大學生產技術研究所金子祥三教授，在來台參與「2012台日科技高峰論壇」時指出，日本民間要求減核之勢銳不可擋。日本政府在高度壓力下順應民意，不重新起動其餘反應爐。但日本政府卻沒有充分告知民眾，停核將付出高電價、產業競爭力下降等代價；電力公司因核電機組無法重起，採購替代核電燃料費用大幅增加，使財務缺口慢慢擴大，若不調漲電費，電力公司將面臨破產。金子教授預估，由於日本電力公司有準備金制度，2012年多家電力公司還可用準備金吃老本，但停核的代價將在2013年，電力公司準備金用罄時開始浮現

來源：1.WNN News 2012/08/30。
2."日本能源的未來走向與產業復興"，金子祥三，2012台日科技高峰論壇－後東日本大震災的復興計畫與台日合作，2012年9月3日。

美國大型中期貯存設施 萬事具備

文．編輯室

美國顧問公司巴妥集團報告指出，用過核燃料採乾式貯存法優點甚多，若因政治因素延宕，將增加成本。美國核工業已有萬全準備，並儲備足夠銀彈設置美國中期貯存設施。

美國放射性廢棄物政策目前處於低迷狀態，自1982年廢棄物處置時程法制化後，便沒有新的法律架構供各界遵循。美國政府未依法在1998年開始收受放射性廢棄物、貯存於雅卡山，因此核工業必須另外負擔廢棄物貯存費用，美國政府也因此訴訟纏身，賠償數億美金。每延宕一年，美國政府身上的重擔就多2.5-3億美金。

用過核燃料所需的貯存花費，大部分是用在乾式貯存－用過核燃料在水池冷卻後，會移至大型混凝土鋼筋容器中，立於混凝土基座上。美國現有63座中期乾式貯存設施，因此核工業有足夠的經驗與人才，實施用過核燃料乾式貯存。

巴妥報告分析，乾式貯存為美國爭論已久的廢棄物議題帶來一線曙光。依據統計，美國到2030年時，用過核子燃料採乾式貯存法的話，僅需43公頃的沙漠空間，成本僅為7.57億美金，等同於美國核工業每年付給國家核子廢棄物基金的費用。歐巴馬政府於2010年初成立美國藍絲帶委員會，處理高放射性廢棄物議題。該委員會

美國核能管制單位法令糾葛 反應爐執照受影響

美國負責核發反應爐興建、營運或延壽的執照管制單位，為核能管制委員會。在執照發出前，依據法律架構，該會應該要有足夠的信心，美國有長期的放射性廢棄物管理和處置的途徑。2010 年，核管會因應被冷凍的放射性廢棄物計畫，修正管制條例，允許核電廠營運執照到期後，仍能在廠內暫貯用過核燃料最高至 60 年。

然而，修正過後的「廢棄物信心決策」，卻被美國聯邦上訴法院哥倫比亞巡迴分院澆了一盆冷水。該院認為，核管會同意在多處反應爐廠址採乾式貯存，違反國家環境政策法案。法院並指出，核管會未檢視反應爐廠址，增設乾式設施的未來風險和結果，有明顯失職。核管會對此表示，他們將會處理法院要求，並仍會討論執照核可作業，但核管會在找出廢棄物解決方案以前，將無法發出需要符合廢棄物信心法則的相關執照。美國因此受影響的有 4 部反應爐，可能在 2013 年底才會獲得最終核可。

曾建議美國，核電廠除役，必須設置一座以上的中期貯存設施。在美國雅卡山處置場計畫宣告終止後，歐巴馬總統亦贊成此設想。

若美國政府可以設置一座以上的大型中期貯存設施，將可換取數十年的政策緩衝期。巴妥建議，美國可以另在新墨西哥州的貯存設施旁，再建一座，每年可以接收6,000噸的用過核子燃料。在2020年至2030年間，新設施可有效處理用過核燃料暫貯廠內增加成本、除役核電廠的用過核燃料去處和用過核燃料池容量已達上限等議題。311福島事故後，用過核燃料池的議題，再度成為各界焦點。在缺乏電力的緊急狀態下，用過核燃料池水極可能在數日後蒸發，造成核安問題。若能採乾式貯存，用過核燃料便能提升安全。

巴妥報告指出，放射性廢棄物政策延宕到2020年後，會使得美國蒙受巨大經濟損失，美國已有足以催生安全和成功的中期貯存技術和經驗，看來並無足以阻礙採取行動的不確定因素。

WNN News 2012/09/07, 2012/08/14



核能新聞

文．編輯室

國外新聞

日本福島區域振興計畫出爐

日本復興廳日前推出福島核一廠附近區域重建計畫。除了除污作業和基礎建設重建之外，此份十年大計主打創造當地就業機會。依照規劃，某些區域的居民在除污作業、水電及污水系統恢復後，可在兩年內重返家園。復興計畫中，政府也提供當地居民福島核一廠反應爐的除污工作和除役的工作機會。絕大部分受污染的土壤會刨除，讓人民可重新居住。

未來五年內，日本政府目標在於重建該區的交通運輸系統，因此也會活化地方的工業和農業活動。更長遠來看，計畫想藉由扶植新產業吸引年輕人到福島縣，增加就業率。計畫也會重建該區的研究和教育機構，復興廳指出，他們將會讓福島縣區成為吸引人居住的環境，讓居民對當地有強烈向心力。

福島疏散區中，楢葉町今年8月被解除疏散禁令，數千位居民可於白天返回家中或工作。楢葉町位在福島核一廠南方13公里處，被劃為核電廠的一部分，因此在去年曾經宣布為緊急狀態。該町居民於2011年4月底前全數疏散，但事實上，城鎮並未遭受嚴重放射性污染。日本有關當局認為，楢葉町從事日間活動無虞，人員無須特別配戴監測設備或防護衣物。較早7月下旬，解除疏散禁令是飯館村，位在福島核一廠西北方28-45公里範圍，與先前4月放寬的南向馬市接壤。大部分飯館村民，現可不著防護裝備返家，但限於年曝露劑量必須在50毫西弗以下，居民不可停留過夜。

WNN News 2012/09/04, 2012/08/15

國際原子能總署：女川核電廠311 幾近未傷　令人稱奇

由19名國際管制單位和專家組成的國際原子能總署特派團，前往造訪日本女川核電廠。該廠是在311大震時，最接近震央的核電廠，卻居然僅有輕微損傷，令各界相當驚訝。特派團此行目的主要是要觀察宮城縣的女川核電廠，探討不同型式核電廠的結構、系統和組件如何因應地震。

女川核電廠有3部沸水式反應爐，如當初設計的因應地震措施，順利於311大震時自動停機。僅有女川1號機在非核能蒸汽建築區發生火災，但當時反應爐皆已經停機。以311地震的規模和海嘯高度來看，女川核電廠遭受的損害，遠遠小於各界預期，主因是女川核電廠基座高於海平面14公尺。雖然地震震垮5組廠外電力線路其中4組，但剩餘的1組線路，仍足以提供3部反應爐冷停機的電力。國際原子能總署將會把視察的結果，綜合整理與各界分享。

WNN News 2012/08/10

南韓新核電廠澆置混凝土、兩部機組商轉

南韓自1970與1980年代開始，即竭力發展本土核工業，初期藉由與國外廠商技術移轉，發展兩型反應爐。近來南韓核電計畫仍不停歇，7月時，新蔚珍核電廠1號機澆置首批混凝土；新月城核電廠1號機、新古里2號機則進入商轉。

南韓於7月21日舉行新蔚珍核電廠1號機混凝土澆置儀式，宣告南韓自主設計的APR-1400型反應爐興建工程，正式開始，預估在2017年完工；2號機則會在1年後才澆置混凝土、2018年4月完工。新蔚珍核電廠是第二組APR-1400型反應爐，頭兩部已在新古里興建中，但新蔚珍的機組，才會是真正沒有西屋智財權色彩的機組。

南韓7月商轉的機組，則有新月城1號機和新古里2號機，使得該國運轉中機組達到24座，提供該國1/3電力。目前南韓有4部機組在興建中，南韓計畫在2030年前讓核電發電比例達到59%，因此目前另計畫5部APR-1400機組團隊加入陣容。

WNN News 2012/07/31, 2012/07/20,
http://www.world-nuclear.org/info/inf81.html

俄羅斯同意金援印度核電廠

俄羅斯與印度簽訂協議，將提供庫丹庫蘭核電廠3、4號機85%的35億美金資金，其餘15%的額度，則是用來支援核燃料供應。此種由外國供資的模式，跟接近完工的同廠1、2號機相同。庫丹庫蘭核電廠的濃縮核燃料，皆由俄羅斯提供，印度則將自行再處理及保留處理後的鈽。目前俄羅斯還在該址計畫8部俄式機組。

WNA Weekly Digest 2012/07/19

阿聯發出首座核電廠興建執照

阿拉伯聯合大公國管制機關發出第一部核電廠興建執照，核准巴拉卡1、2號機興建工程全面展開。巴拉卡廠址位於人煙飄渺地帶，相當接近鄰國沙烏地阿拉伯。拿到執照後，阿聯核能公司便有權進口，南韓為阿聯獨家設計的反應爐相關組件和技術。

阿聯於2009年底宣布與南韓簽下200億美金合約，將在該國興建4部韓式AP-1400型反應爐，預計第一部反應爐將於2017年上線。阿聯表示，根據國際原子能總署資料顯示，該國是全球31年來的興建核電廠「新生」，上一國是1981年的中國大陸。

WNN News 2012/07/18

皆贏策略　德國鈽續留英國

在考量多方利益下，英國決議留下協助德國再處理的鈽。這4噸鈽來自德國核電廠委託英國再處理的用過核燃料，目前暫貯英國。在雙方協議下，英國再處理後的鈽，將在法國以等量鈽製造MOX燃料後，交給原德國核電廠使用。也就是說，以這種跨國合作模式，英國實際上便不用把鈾轉運法國，以核能安全角度來看，可以大大減少核武擴散風險和降低運送時產生的爭議。

英國多年來為外國核能設施提供再處理服務。分離過後產物的所有權，仍在國外客戶手上，高放射性廢棄物和分離過後

的鈽和鈾必須運回國外，而其中的鈽通常會在運往國外前，轉換成MOX燃料。某些暫貯在英國的德國鈽，先前在合約規範下，必須在英國的雪拉菲爾德工廠製造成MOX燃料，但該廠已於2011年關閉。雪拉菲爾德廠的客戶多為日本公司，因此英國官方有鑑於福島事故後，日本核電前途未卜，便決定關門大吉。

根據英國能源與氣候變遷部指出，會同意保留德國的鈽，除了有商業考量外，還有免除運送分離鈽的風險存在。目前英國官方握有所有權的鈽將續留，並納入英國庫存，總量約有118噸。英國能源與氣候變遷部指出，該批物料帶來的經濟效益，高於長期的貯存成本。

WNN News 2012/07/13

數十年來頭一遭！加拿大核發新核電廠執照

加拿大25年來頭一遭，發出新反應爐場址準備執照。加拿大管制機關發出的安大略省達靈頓核電廠場址準備執照，效期10年，至2022年為止。執照允許在現有4部反應爐的達靈頓場址，進行如清理、開挖等興建新反應爐前置作業。

此番執照決策，乃由加拿大核子安全委員會做出。2012年初加國政府正式接受該委員會的報告和場址環境調查結果，為發出場址準備執照作暖身。加拿大核安委員會在考量為期17天的公聽會、14個政府部會和各界回應後，做出決策。委員會主席指出，在公開透明的決策過程中，該委員會得到數百位公民的回應。各界的想法和辯論，促使委員會得以做出最好的決定，這是加拿大核能史上的里程碑。



▲ 達靈頓電廠一景

核安委員會規劃時程，安大略電力公司必須就執照作業和環境評估時承諾辦理情形，繳交中期報告，主管機關也需將相關文件公布周知。目前新反應爐有兩家競爭廠商，SNC能源公司與西屋分別提出Candu 6與AP1000型反應爐設計供選擇，將會有1年時間可以做分析報告。最後報告會送交安大略省政府，評估是否繼續進行新反應爐計畫。加拿大管制機關的下一步，會決定是否發給興建執照與營運執照。在此期間，民眾仍有表達意見的空間。

WNN News 2012/08/20

日本再重起另一部反應爐

繼首部重新供電的大飯3號機後，日本關西電力公司再於7月下旬，重新起動大飯4號機。但因日本各地抗議聲浪不斷，重起其他閒置中核電廠的計畫，可能會延後。

WNA Weekly Digest 2012/07/19

國內新聞

天秤颱風未影響核三廠機組安全

24日天秤颱風橫掃南台灣，短短2小時，使恆春半島遭遇百年最大颱風雨量。位於恆春鎮的核三廠因強風大雨導致外電不甚穩定，雖未達機組降載標準，電廠仍採保守決策而自發性降載運轉。原能會表示，期間雖曾短暫喪失一路暫時停用的外電，宿舍區及部分倉庫淹水，但對機組安全皆無影響。

台電公司各核電廠都有防颱相關的作業程序，運轉規範中也明訂有「颱風期間運轉方案」可供遵循。原能會於颱風侵襲核電廠期間均指派視察人員持續駐廠至颱風威脅解除，嚴格監督並實際查核確認電廠依相關規定執行，以確保颱風期間機組安全無虞。在颱風遠離後，將再次確認電廠皆依運轉規範或程序書規定採保守決策運轉。

（2012.08.27 本刊訊）

「海峽兩岸核電安全合作協議」順利開始運作

「海峽兩岸核電安全合作協議」已於今（101）年6月29日正式生效，原能會於今年8月14-16日於中國大陸吉林省長春市與陸方相關單位召開第1次工作組會議。我方由原能會綜合計畫處、核能管制處及核能技術處相關人員參加；陸方由中國大陸環保部（核安全局）、核應急協調辦公室、能源局等相關單位人員參加。會議進行順暢，雙方達成多項具體共識。

（2012.08.20. 本刊訊）

大家一起來量輻射　確認蘭嶼地區並無「輻射超標」情形

原能會於今（11）日舉辦蘭嶼地區環境平行監測活動，邀請相關單位及地方人士共十餘人，進行蘭嶼地區的環境樣品取樣及輻射偵測。訪查成員於今日下午在蘭嶼各地，以輻射偵測儀器進行量測的結果，確認都在自然背景變動範圍內，並無異常情形。有關日本人士及環保人士指稱蘭嶼部分地區有「輻射超標」情形，並非事實，請民眾可以放心前往蘭嶼旅遊。

為落實資訊公開透明，原能會邀請行政院原住民族委員會、台東縣政府、蘭嶼鄉公所、蘭嶼鄉民代表會、環保人士、地方人士及清華大學等十餘人組成訪查團隊，進行為期2天的平行監測活動。原能會表示，將會定期邀請地方人士進行此類活動，其目的是為落實資訊公開及民間參與，並透過學術機構的分析驗證，讓蘭嶼貯存場的營運狀況，攤在陽光下，接受全體國人的檢驗。

（2012.09.11. 本刊訊）



▲ 在蘭嶼朗島地區採取土壤樣本進行輻射偵測



▲ 蘭嶼朗島地區環境輻射劑量顯示為 0.086 微西弗 / 小時，在自然背景變動範圍內，並無超標情形

龍門核電廠建廠管制現況報導

文・編輯室

7月19日原能會函覆台電公司注意改進事項AN-LM-100-049-2結案申請的審查意見：1.未說明龍門電廠設計的自動滅火系統有哪些、屬各自動滅火系統的電動控制閥包括哪些閥，GE及非GE設計的自動滅火系統電動控制閥，其主要電源及第2電源源自何處，其第2電源採何種方式設計，以符合BTP CMEB 9.5-1 C.6.a（6）要求。2.未說明核四廠火警警報盤是否動作滅火系統、未說明實際設計的備用電源容量為24小時或是90小時。就前述事項要求台電公司補充說明。

7月20日原能會完成台電公司對「龍門核能發電廠1號機1E22-P-0001C法規修理計畫」審查作業，針對持壓泵殼側的瑕疵修理後，無需壓力測試的理由、焊後非破壞檢測的評估作業，以及運轉前檢測或測試應一併納入評估項目範圍中等議題，請台電公司詳細評估修理或更換計畫內容是否符合規範要求，倘若有替代方案或免除要求時，則須說明具體理由。

7月24日原能會針對龍門電廠1號機反應爐廠房動火管制作業缺失，開立注意改進事項AN-LM-101-032，要求台電公司就滅火器、防火布未備妥即行動火、動火前檢查記錄不實、欠缺動火後檢查紀錄及動火作業負責人或監火員不定時巡查的簽名紀錄等項缺失，進行檢討改善。

7月24日原能會函送注意改進事項AN-LM-101-033，請台電公司就龍門電廠裝設的防火門部分不具耐火時效標籤，且其防火時效未確認與防火屏障同等級，不符BTP CMEB 9.5-1 C.5.a（5）、B.4的規定，進行檢討改善。

8月7日原能會核管處召開違規審查會議，針對「龍門電廠一號機電氣工程安全級具外被覆可撓性金屬導線管審查及安裝作業不符核能品保」違規案，經會議決議開立3級違規及建議裁罰30萬元，本案已提送原能會違規審議小組審查。

8月17日原能會函送核能電廠結構、系統、組件等設施需採隔震設計的立場說明，並求台電公司辦理，主要立場包含以下各項：（a）採隔震設計的設備及所屬廠房，要求隔震能力的設計需達到符合該廠設計地震SSE以上（需考慮基礎岩盤至廠房基礎位置的土壤放大效應），以及需預留不少於Review Level Earthquake（RLE）的餘裕設計；（b）如採隔震設計的設備配合非隔震設計的所屬廠房，該廠房耐震

能力亦需達到符合前項的耐震設計要求；（c）採隔震設計的設備及所屬廠房的設計反應頻譜形狀，應採NUREG/CR-0098或較新近地震危害度研究結果的個廠Uniform Hazard Spectrum進行設計；（d）採隔震設計的設備及所屬廠房應將設備耐震驗證能力納入設計規範要求，同時對隔震設計的設備及所屬廠房的管線等介面設計應充分考量相對位移的容納能力。

8月17日原能會函送注意改進事項AN-LM-101-035，請台電公司就7月26日龍門電廠1號機下乾井最底層集水坑溢流事件，提出肇因分析並訂定改善方案。本案經原能會視察員調查後撰寫「龍門電廠1號機7月26日下乾井最底層淹水事件初步調查報告」、「龍門電廠1號機7月26日下乾井集水坑溢流事件調查報告」。本案原應開立5級違規，然鑒於電廠全力配合調查，並多次開會檢討訂定多項改善措施據以施行，故改開立注意改進事項要求台電公司改善。

台電公司函報「龍門核能電廠1號機燃料裝填前應完成事項辦理事項」辦理情形（目前19大項、75小項），又7月份無申請結案項次，故目前已結案者仍為28小項。

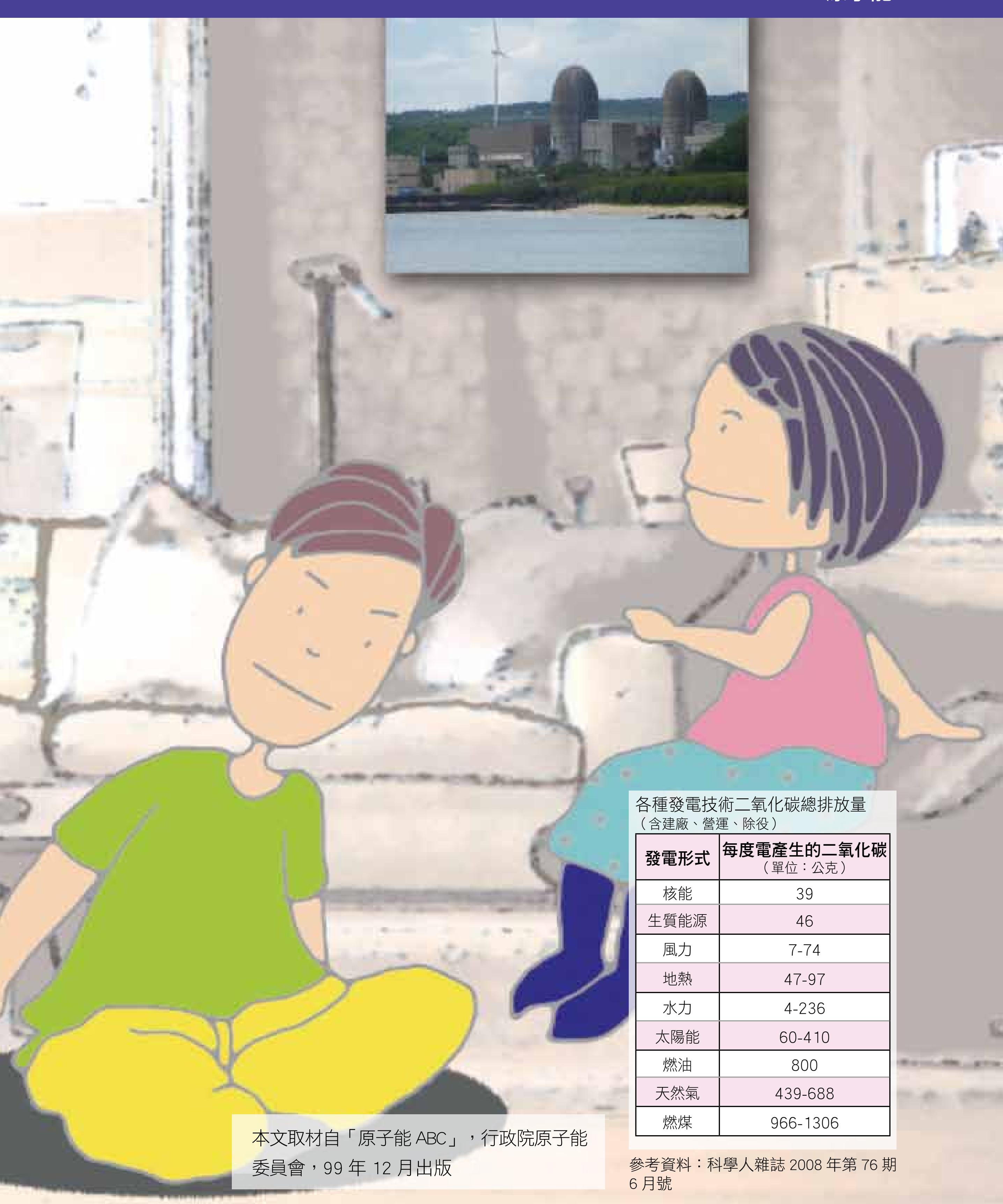
台電公司提供之工程進度 （截至 101 年 8 月底止）					
	總進度	設計	採購	施工	試運轉
比例	100%	19%	15%	58%	8%
1、2 號機合計進度	93.53%	99.35%	100%	97.18%	41.14%
預定進度	98.64%	99.94%	100%	98.49%	94.04%
差異	-5.11%	-0.59%	0%	-1.31%	-52.90%

【註 1】合計進度＝ 1 號機進度 ×52%＋ 2 號機進度 ×48%
【註 2】本月份合計進度較 101 年 7 月底增加 0.02%

Energy 能量

爸爸說：「弟弟在玩皮球，皮球從高的地方掉下來，就會產生能量。類似的能量經過一些處理，就會變成對我們直接有用的東西，例如電力、熱力。」

「上次爸爸帶你們去金山玩，沿路有看到兩座核電廠。它們和苗栗海邊的風車，都是幫忙我們產生能量、發電的好幫手。以前我們都用石油、煤來發電，可是現在大家發現，這會製造很多二氧化碳，對環境造成傷害。因此越來越多國家選擇蓋核電廠，核電廠產生的二氧化碳量很少，可以為減緩地球暖化盡一份心力呢！」



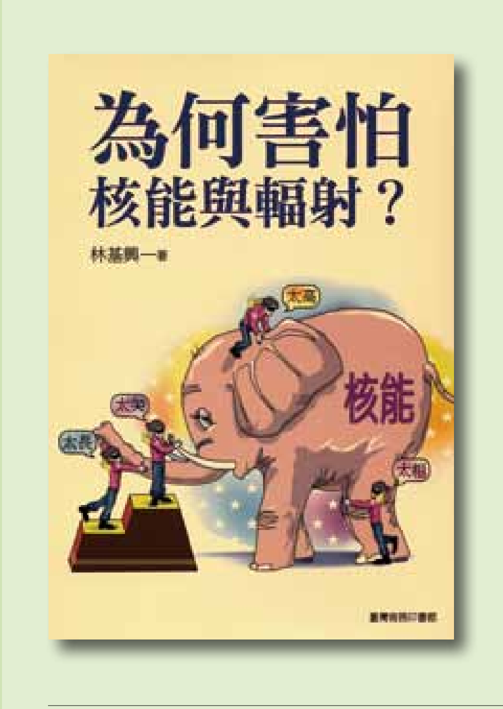
各種發電技術二氧化碳總排放量
（含建廠、營運、除役）

發電形式	每度電產生的二氧化碳（單位：公克）
核能	39
生質能源	46
風力	7-74
地熱	47-97
水力	4-236
太陽能	60-410
燃油	800
天然氣	439-688
燃煤	966-1306

參考資料：科學人雜誌 2008 年第 76 期 6 月號

本文取材自「原子能 ABC」，行政院原子能委員會，99 年 12 月出版

本書以通俗方式解釋核能與輻射的正確知識，祛除正在污染社會的「核能輻射恐慌」。





出版社：台灣商務印書館 www.cptw.com.tw

作者：林基興
現職：行政院科技會報辦公室研究員
科學月刊社理事長
環保署「非游離輻射預警機制風險評估小組」
主席
學歷：美國華盛頓大學工程博士
經歷：《科學月刊》與《科技報導》總編輯
台灣大學化工所兼課
著作：《電磁恐慌》
語言：法、德、俄、日、英
